

**TINGKAT EUTROFIKASI RAWA PENING
DALAM KERANGKA KAJIAN
PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON**



TESIS

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2**

MAGISTER ILMU LINGKUNGAN

HARI WIBOWO, SSi

L4K 001 071

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2004

LEMBAR PENGESAHAN
TINGKAT EUTROFIKASI RAWA PENING
DALAM KERANGKA KAJIAN
PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON

Disusun oleh
Hari Wibowo, Ssi
L4K001071

Telah dipertahankan di depan penguji dan diterima
pada tanggal 26 Februari 2004

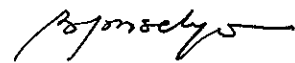
Mengetahui Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Norma Afiati, MSc
NIP. 131 125 991

Pembimbing II



Budhi Prasetyo, Ph.D
NIP. 131 285 172



LEMBAR PENGESAHAN
TINGKAT EUTROFIKASI RAWA PENING
DALAM KERANGKA KAJIAN
PRODUKTIVITAS PRIMER FITOPLANKTON

Disusun oleh
Hari Wibowo, S.Si
L4K001071

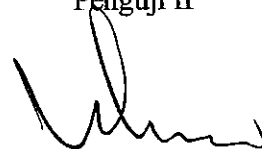
Menyetujui dan Mengesahkan

Penguji I



Dr. Boedi Hendarto
NIP. 130 681 639

Penguji II



Ir. Sumarno, MSi
NIP. 130 892 624

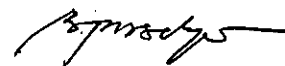
Mengetahui Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Norma Afiati, MSc
NIP. 131 125 991

Pembimbing II



Budhi Prasetyo, Ph.D
NIP. 131 285 172



RINGKASAN

Hari Wibowo. L4K001071. Tingkat Eutrofikasi Rawa Pening Dalam Kerangka Kajian Produktivitas Primer Fitoplankton (di bawah bimbingan Norma Afiati dan Budhy Prasetyo)

Rawa Pening merupakan sistem perairan yang relatif tertutup, dengan beberapa *input* sungai dan hanya satu *output* melalui sungai Tuntang. Keberadaan Rawa Pening mampu memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar, dan telah menjadi sumber mata pencaharian masyarakat secara turun temurun. Kegiatan perikanan yang banyak nampak merupakan salah satu kegiatan perekonomian penduduk, di samping kegiatan pariwisata yang cukup menarik bagi wisatawan domestik. Dengan tanpa disadari, berbagai kegiatan tersebut telah memberikan pengaruh negatif bagi kualitas air Rawa Pening. Tingginya pasokan bahan organik telah memacu laju eutrofikasi di perairan ini.

Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan status trofik Rawa Pening, berdasarkan parameter-parameter biokimia. Salah satu parameter yang sering dijadikan indikator tingkatan trofik adalah kandungan klorofil dan kemungkinan terjadinya *blooming* fitoplankton. Penelitian ini juga bertujuan mengetahui pengaruh keberadaan *Eichhornia crassipes* terhadap biota planktonik di bawahnya.

Struktur komunitas fitoplankton dianalisis dengan menghitung indeks keanekaragaman Shannon-Wiener dan indeks pemerataan (*Evenness*). Kandungan klorofil fitoplankton ditentukan dengan menghitung kandungan klorofil a, b dan c_1+c_2 . Beberapa parameter pendukung juga ditetapkan baik secara *in-situ* maupun secara *ex-situ*, seperti kecerahan, turbiditas, kandungan nitrogen, kandungan fosfor dan BOD₅.

Hasil penelitian menunjukkan kandungan total nitrogen dan fosfor telah berada pada tingkatan eutrofik (masing-masing memiliki rata-rata 0,643 mg/L dan 0,179 mg/L). Kecerahan rata-rata perairan Rawa Pening juga menunjukkan indikasi bahwa perairan ini berada pada status eutrofik (rata-rata hanya mencapai 118,07). Namun dari hasil analisis fitoplankton, diketahui bahwa Rawa Pening memiliki jumlah fitoplankton yang relatif rendah (rata-rata 459 individu per liter). Kandungan klorofil fitoplankton Rawa Pening masih berada pada status mesotrofik, dengan kandungan klorofil total rata-rata 11,158 µg/L dan klorofil a rata-rata 7,417 µg/L.

Analisis pengaruh keberadaan *Eichhornia crassipes* menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan terhadap beberapa parameter biologi, fisika dan kimia perairan di Rawa Pening. Hal ini menunjukkan bahwa perairan Rawa Pening secara statistik berada pada kondisi yang relatif homogen.

ABSTRACT

TROPHIC LEVEL OF RAWA PENING BASED ON PRIMARY PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON

Rawa Pening is a close aquatic system with several inputs and only one output, that is Tuntang River. For generation, the lake has become the centre to the people living nearby to take some advantages from it. Fishing is one of the most apparent economic activities, beside that, tourism activities seem have attracted domestic tourists. Without being realised, those activities result in some negative effects to the quality of the water of Rawa Pening. The increase of the organic substance accelerates the eutrophication of this aquatic environment.

This research is aimed at determining the trophic level of the lake based on some biochemical parameters. One of them which is often used is the chlorophyll concentration and the blooming of phytoplankton. In addition, this research is also aimed at identifying the effects of *Eichhornia crassipes* toward planktonic organism underneath.

The structure of the phytoplankton community is assessed using the Shannon – Wiener index and the evenness index. To measure chlorophyll in phytoplankton, chlorophyll a, b and $c_1 + c_2$ detected and counted. Some other secondary parameters are also applied either with *in-situ* or *ex-situ* such as transparency, turbidity, nitrogen and phosphorus concentration as well as BOD₅.

The result of the research indicates that the total amount of nitrogen and phosphorus substance is on the eutrophic level where in each is approximately 0.643 mg/L and 0.179 mg/L. The average transparency of the lake prints out that this aquatic environment is on eutrophic level where in the normal condition is about 118.87 cm. However, from the analysis of phytoplankton, it is found out that the lake contains a number of phytoplankton which is relatively low, approximately 459 per liter. The substance of chlorophyll in the phytoplankton is still on mesotrophic level for the total amount of chlorophyll is 11.158 µg/L and chlorophyll a is 7.417 µg/L. The analysis of the *Eichhornia crassipes* indicates that there is no significant difference toward some biological, physic and chemical aquatic parameters in Rawa Pening. It statistically prints out that the aquatic environment of Rawa Pening is relatively on homogenous condition.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkatnya maka penulis bisa menyelesaikan laporan akhir (tesis) untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi di Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Penelitian ini mengambil tema “Tingkat Eutrofikasi Rawa Pening Dalam Kerangka Kajian Produktivitas Primer Fitoplankton”. Hasil penelitian ini diharapkan akan mampu memberikan masukan, terutama dalam bidang kajian biota planktonik dalam upaya manajemen perairan Rawa Pening dan dalam upaya konservasi perairan tersebut yang telah mengalami problem pencemaran, khususnya pencemaran organik.


Pada kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian dan penyusunan proposal tesis ini. Khususnya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES selaku Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan UNDIP, yang telah memberikan banyak bantuan selama persiapan dan pelaksanaan serta atas masukan yang diberikan demi terlaksananya penelitian dan terselesaikannya laporan akhir ini.
2. Dr. Norma Afiati, MSc selaku pembimbing pertama yang telah memberikan masukan, kritikan dan dukungan sehingga laporan akhir ini dapat terselesaikan.
3. Budhi Prasetyo, PhD selaku pembimbing kedua, atas segala saran, masukan dan kritikan, sehingga terselesaikannya laporan akhir ini.
4. Dr. Boedi Hendarto dan Ir. Sumarno, MSi selaku penguji tesis, atas segala kritik dan saran yang diberikan.
5. Dra. Tri Retnaningsih S, MAppSc selaku pembimbing laboratorium, atas masukan dan pertimbangan yang diberikan selama analisis di laboratorium dan analisis data.
6. Drs. Adiganda U. Silalahi, Ketua Program Studi Strata 1 (S1) Fakultas Biologi UKSW Salatiga, atas segala masukan, kritik dan informasi yang telah diberikan.

7. Dr. Linawaty Limantara, dari Pusat Studi Pigmen Fotosintesis, Jurusan Kimia Fakultas Sain dan Matematika, UKSW Salatiga, atas bantuan dan informasi yang diberikan selama persiapan penelitian.
8. Andi, mas Tinus, mas Bambang, mas Suryani, Ronny dan Dayan, atas bantuan selama pengambilan sampel di lapangan.
9. Dra. Suparni Setyowati R., MSi, atas segala bantuan selama analisis data.
10. Mas Stefanus Agung, dari Laboratorium Kimia, Jurusan Kimia Fakultas, Sain dan Matematika, UKSW Salatiga, atas bantuan yang diberikan.
11. Bapak Sodik Pratama, SSi dan Bapak Anwar dari Laboratorium Forensik Jawa Tengah, atas bantuan peralatan yang disediakan sehingga penelitian ini dapat berjalan seperti yang diharapkan.
12. Bapak, Ibu dan Andi atas segala bantuan doa, sarana dan prasarannya.
13. Mbak Titin dan keluarga, atas saran dan nasihat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir ini.
14. Rekan-rekan mahasiswa Program Magister Ilmu Lingkungan Kelas Reguler Angkatan 2001, atas segala masukan dan sarannya.
15. Rina, Novi dan Wiwik, atas doa, dorongan dan motivasinya.
16. Teman-teman MUDIKA St. Andreas Ampel, atas motivasi dan dorongan yang diberikan hingga terselesaikannya laporan akhir ini.
17. Kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terselesaikannya laporan akhir ini

Penulis menyadari bahwa laporan akhir (tesis) ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu penulis mengharapkan saran kritik yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan laporan ini. Semoga penelitian ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkan. Terlebih semoga penelitian ini dapat menggugah rasa cinta kita terhadap lingkungan di sekitar kita.

Semarang, Maret 2004



Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR FOTO	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Formulasi Permasalahan	5
I.3. Tujuan	6
I.4. Manfaat	7
I.5. Pembatasan Masalah	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
II.1. Air Tawar dan Sistem Perairan Tawar	8
II.2. Pencemaran Air	11
II.3. Aspek Kimia dan Fisika Perairan	13
II.4. Eutrofikasi	17
BAB III. HIPOTESIS	28
BAB IV. METODE PENELITIAN	29
IV.1. Kerangka Pikir	29
IV.2. Waktu dan Tempat Pelaksanaan	30
IV.3. Alat dan Bahan	30
IV.4. Lokasi Titik Sampling	31
IV.5. Pengukuran Variabel Pendukung	35
IV.6. Pengambilan Sampel	35
IV.7. Analisis Komunitas Fitoplankton	37
IV.8. Penentuan Kandungan Nitrogen dan Fosfor	38
IV.9. Penentuan Kandungan Klorofil	39
IV.10. Analisis Data	40
BAB V. HASIL PENELITIAN	42
BAB VI. PEMBAHASAN	49
VI.1. Kajian Fisika, Kimia dan Biologi Perairan Rawa Pening	49
VI.2. Komunitas dan Produktivitas Primer Fitoplankton	55
VI.3. Pengaruh Keberadaan <i>Eichhornia crassipes</i> Pada Lokasi Sampling	58
VI.4. Aktivitas Manusia Sekitar Rawa Pening	61
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	65
VII.1. Kesimpulan	65
VII.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pembagian kualitas air berdasarkan tingkatan trofik	25
Tabel 2. Pembagian kualitas air berdasarkan tingkatan trofik	25
Tabel 3. Pembagian tingkatan trofik perairan	26
Tabel 4. Pembagian kualitas air berdasarkan variabel komunitas Fitoplankton	26
Tabel 5. Alat yang dipergunakan dalam penelitian.....	30
Tabel 6. Bahan yang dipergunakan dalam penelitian.....	31
Tabel 7. Titik sampling di perairan rawa Pening	33
Tabel 8. Panjang gelombang dan pereaksi yang digunakan dalam pengukuran kandungan nitrogen dan fosfor.....	39
Tabel 9. Ringkasan hasil analisis variabel <i>ex-situ</i> dan <i>in-situ</i>	46
Tabel 10. Hasil penentuan variabel indikator trofik untuk masing-masing subsistem	47
Tabel 11. Hasil uji t beberapa variabel indikator eutrofikasi	47
Tabel 12. Hasil uji beda rata-rata antar tipe lokasi pengambilan sampel.....	48
Tabel 13. Tipikal fitoplankton yang mendominasi danau pada beberapa status trofik.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis kimia perairan Rawa Pening.....	71
Lampiran 2. Hasil analisis fisika perairan.....	72
Lampiran 3. Hasil analisis klorofil perairan Rawa Pening.....	73
Lampiran 4. Indeks-indeks ekologi fitoplankton	74
Lampiran 5. Jumlah genera masing-masing kelas fitoplankton.....	75
Lampiran 6. Struktur komunitas Fitoplankton Rawa Pening.....	76
Lampiran 7. Baku mutu air permukaan.....	77
Lampiran 8. Uji rata-rata beberapa variabel indikator eutrofikasi	78
Lampiran 9. Uji kesamaan dua rata-rata beberapa variabel	80
Lampiran 10. Foto-foto penelitian.....	89
Lampiran 11. Beberapa pola hubungan antar variabel.....	91
Lampiran 12. Beberapa pola hubungan antar paramter dengan Pembedaan tipe lokasi sampling	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta lokasi penelitian.....	34
Gambar 1. Hubungan turbiditas dengan kecerahan	91
Gambar 2. Hubungan turbiditas dengan oksigen terlarut.....	91
Gambar 3. Hubungan kecerahan dengan oksigen terlarut.....	92
Gambar 4. Hubungan kecerahan dengan produktivitas primer.....	92
Gambar 5. Hubungan rasio fotoautotrof heteretrof dengan NO_2	93
Gambar 6. Hubungan rasio fotoautotrof heteretrof dengan NO_3	93
Gambar 7. Hubungan rasio fotoautotrof heteretrof dengan $\text{NH}_3 - \text{N}$	94
Gambar 8. Hubungan rasio fotoautotrof heteretrof dengan P total	94
Gambar 9. Hubungan kecerahan dengan rasio fotoautotrof heteretrof.....	95

DAFTAR FOTO

Foto 1. Perairan yang bebas dari <i>Eichhornia crassipes</i>	31
Foto 2. Perairan yang tertutup penuh oleh <i>Eichhornia crassipes</i>	32
Foto 3. Lokasi yang tertutup sebagian oleh <i>Eichhornia crassipes</i>	32
Foto 4. <i>Asterionella</i>	44
Foto 5. <i>Fragillaria</i>	45
Foto 6. <i>Gonyvaux</i>	45
Foto 7. <i>Melosira</i>	46
Foto 8. Pulau terapung yang mulai ditumbuhi tanaman teresterial.....	89
Foto 9. Ganggang rantai (<i>Hydrilla</i>).....	89
Foto 10. Karamba di daerah Tuntang.....	90

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Rawa Pening merupakan perairan tertutup yang termasuk dalam wilayah Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Semarang. Keberadaan dan manfaat Rawa Pening telah sejak lama dirasakan oleh masyarakat sekitar danau tersebut. Perairan ini selama bertahun-tahun dan turun menurun dimanfaatkan oleh penduduk sebagai sumber mata pencaharian. Salah satu dari sekian banyak kegiatan yang dilakukan masyarakat setempat adalah perikanan, yang dapat dilihat dengan banyaknya karamba di perairan ini yang dibuat untuk budidaya ikan air tawar, selain dengan mendapatkan ikan secara alami.

Keberadaan Danau Rawa Pening ternyata juga mampu menarik warga masyarakat dari daerah lain untuk menikmati keindahannya, atau sekedar menikmati hasil perikanan di daerah tersebut. Kehadiran industri jasa rumah makan dan restoran apung yang berdiri di kawasan ini, telah berfungsi sebagai sarana rekreasi keluarga. Namun kenyataan tersebut harus dibayar mahal oleh kondisi perairan yang saat ini sangat memprihatinkan. Pencemaran perairan yang diakibatkan oleh kegiatan pertanian, kegiatan jasa pariwisata dan budidaya perikanan telah memacu peningkatan kandungan bahan organik yang pada akhirnya memacu proses penyuburan perairan (eutrofikasi). Gejala eutrofikasi lanjut di perairan Rawa Pening ini dikatakan telah mencapai tahapan akut atau di ambang suksesi ke arah pembentukan daratan. Perkembangbiakan tumbuhan air seperti enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan ganggang rantai (*Hydrilla*) yang tidak terkendali telah mempercepat proses sedimentasi, melalui penimbunan

material yang membusuk dari sisa-sisa tumbuhan-tumbuhan air tersebut di dasar danau.

Penyuburan perairan (eutrofikasi), termasuk yang terjadi di Rawa Pening, ternyata sudah menjadi satu permasalahan yang sangat rumit di Indonesia. Permasalahan yang terkait dengan eutrofikasi ini bahkan telah menjadi kompleks, terkait dengan berbagai keadaan masyarakat dan segala aktivitasnya di sekitar perairan yang mengalami proses eutrofikasi. Kondisi ini juga menjadi permasalahan serius selain permasalahan pencemaran air oleh bahan-bahan beracun dan berbahaya ataupun bahan-bahan karsinogenik (Saefumillah, 2003).

Keadaan perairan Rawa Pening sendiri bertambah parah dengan status perairan yang relatif tertutup. Pengertian tertutup dalam hal ini adalah waktu tinggal material di perairan ini yang relatif lama. Walaupun memiliki beberapa *input* air dari beberapa sungai di sekitar (sembilan sub DAS) Rawa Pening dan satu *output* ke arah Sungai Tuntang, waktu tinggal material di perairan yang relatif lama (terutama pada musim kemarau), menjadikan berbagai material, termasuk material organik yang memacu eutrofikasi dan laju sedimentasi, tidak cepat mengalir keluar dari badan perairan. Berkaitan dengan laju sedimentasi, selama tahun 2000, tercatat lumpur yang masuk ke Rawa Pening pada musim penghujan sebesar 786 ton per bulan. Pada musim kemarau, lumpur sedimentasi yang masuk ke rawa terbesar di Jateng itu menurun, tinggal sekitar 270 ton per bulan. Khusus masalah yang menyangkut eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebenarnya telah dilakukan upaya pengendalian sejak tahun 1931, tetapi tidak sepenuhnya menunjukkan hasil positif (Anonim, 2003).

Di sisi lain penumpukan bahan-bahan organik di badan air menyebabkan kondisi perairan Rawa Pening menjadi lebih subur, dan tentunya akan meningkatkan populasi berbagai organisme fotosintetik di perairan. Jika kondisi semacam ini dibiarkan terus menerus akan menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem perairan Rawa Pening.

Produktivitas primer adalah variabel yang sering digunakan sebagai indikator penentuan kualitas perairan selain struktur komunitas biota (dalam kerangka kajian biologi). Penentuan produktivitas primer pada tingkat planktonik juga merupakan salah satu indikasi dan variabel untuk melihat gejala eutrofikasi. Dalam hubungannya dengan fitoplankton sebagai organisme produsen, produktivitas primer ini terkait erat dengan kandungan klorofil fitoplankton. Tingkat produktivitas primer ini dapat menunjukkan tingkat kesuburan perairan tersebut. Produktivitas terkait pula dengan pasokan nutrisi yang masuk ke perairan. Tingginya pasokan nutrisi akan memacu peningkatan produktivitas primer oleh fitoplankton (Welch, 1992).

Nitrogen dan fosfor merupakan nutrisi yang berperan cukup dominan dalam kaitan dengan produktivitas (Sawyer, McCarty and Parkin, 1994), walaupun masih ada unsur-unsur yang lain, misalnya silika (Si), yang diperlukan cukup besar oleh Diatomeae. Unsur N dan P biasanya menjadi unsur utama dalam kajian produktivitas primer. Nitrogen dan fosfor ini diperlukan oleh tumbuhan dan produsen primer sebagai unsur pembentuk berbagai enzim metabolisme dan penyusun klorofil. Selain itu, kandungan unsur-unsur ini di perairan dapat juga dijadikan variabel untuk penentuan kualitas perairan dalam kaitannya dengan proses penyuburan perairan (eutrofikasi).

Air berada pada tingkatan eutrofik jika fosforus (total fosforus) dalam air berada dalam rentang 35 – 100 $\mu\text{g/L}$. Eutrofikasi merupakan sebuah proses alamiah di mana danau mengalami penuaan secara bertahap dan menjadi lebih produktif bagi tumbuhnya biomassa. Diperlukan proses ribuan tahun untuk sampai pada kondisi eutrofik. Namun proses alamiah ini saat ini disadari dipercepat oleh aktivitas manusia, menjadi dalam hitungan dekade atau bahkan tahun. Akibatnya eutrofikasi menjadi masalah di hampir ribuan danau di muka bumi, sebagaimana dikenal lewat fenomena *algal bloom*. Kondisi eutrofik sangat memungkinkan alga, tumbuhan air berukuran mikro, untuk tumbuh berkembang biak dengan pesat (*blooming*) akibat ketersediaan fosforus yang berlebihan serta kondisi lain yang memadai. Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhannya yang menjadi semakin meningkat. Banyaknya eceng gondok yang bertebaran di rawa-rawa dan danau-danau juga disebabkan fosforus yang sangat berlebihan ini. Akibatnya, kualitas air di banyak ekosistem air yang mengalami eutrofikasi, menjadi sangat rendah. Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut, bahkan sampai batas nol, menyebabkan makhluk hidup air seperti ikan dan spesies lainnya tidak bisa tumbuh dengan baik sehingga akhirnya mati. Hilangnya ikan dan hewan lainnya dalam mata rantai ekosistem air menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem air. Permasalahan lainnya, Cyanobacteria (blue-green algae) diketahui mengandung toksin sehingga membawa risiko kesehatan bagi manusia dan hewan. *Algal bloom* juga menyebabkan hilangnya nilai konservasi, estetika, rekreasional, dan pariwisata sehingga dibutuhkan biaya sosial dan ekonomi yang tidak sedikit untuk mengatasinya. Dewasa ini persoalan eutrofikasi tidak hanya dikaji secara lokal

dan temporal, tetapi juga menjadi persoalan global yang rumit untuk diatasi sehingga menuntut perhatian serius banyak pihak secara terus-menerus. Eutrofikasi merupakan contoh kasus dari masalah lingkungan yang menuntut pendekatan lintas disiplin ilmu dan lintas sektoral. (OECD, 1982 ; Saefumilah, 2003).

Permasalahan lingkungan hidup yang terjadi di perairan Rawa Pening, berkaitan langsung dan tidak langsung dengan dinamika masyarakat sekitar Rawa Pening. Lingkungan hidup merupakan sebuah sistem yang utuh, kolektivitas dari serangkaian subsistem yang saling berhubungan, saling tergantung dan fungsional, yang membentuk satu kesatuan ekosistem utuh. Dengan pengertian tersebut, maka berbagai kajian ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan permasalahan lingkungan menjadi tidak terpisahkan, baik kajian ilmu pengetahuan alam maupun kajian ilmu-ilmu sosial (Purba, 2002). Diharapkan dengan pendekatan lintas disiplin ilmu akan mampu memberikan solusi terbaik dalam pemecahan masalah lingkungan di Rawa Pening.

1.2. Formulasi Permasalahan

Rawa Pening merupakan perairan yang dimanfaatkan oleh penduduk sekitar untuk berbagai kepentingan, baik untuk pertanian, perikanan, maupun pariwisata. Salah satu dampak yang ditimbulkan oleh berbagai kepentingan tersebut adalah terjadinya pencemaran organik yang berasal dari limbah pertanian (misalnya oleh sisa pupuk yang digunakan), limbah perikanan karamba (misalnya sisa makanan ikan dan pelet ikan) serta limbah dari industri pariwisata disekitar Rawa Pening (berupa limbah dari rumah makan dan kegiatan pariwisata lainnya).

Pasokan limbah organik ke perairan yang cukup tinggi akan menyebabkan penumpukan bahan organik di badan air, yang akan mengganggu keseimbangan kimia biologi air di Rawa Pening. Mengingat sebagian besar limbah yang masuk ke perairan Rawa Pening ini berupa limbah organik, maka kajian mengenai limbah organik dan biota yang terkait langsung di dalam siklus senyawa organik menjadi penting.

Berkaitan dengan kenyataan seperti tersebut di atas dan mengingat peranan danau Rawa Pening yang begitu besar secara ekologis maupun secara ekonomis serta melihat kondisi perairan tersebut yang saat ini sudah terganggu masalah pencemaran, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui struktur komunitas dan produktivitas primer fitoplankton berkaitan dengan pencemaran organik. Indikasi pencemaran lingkungan ini selain dilihat dengan konsentrasi bahan-bahan organik di perairan juga dilihat dari konsentrasi kandungan klorofil yang terdapat di perairan, sebagai salah indikator biologi. Tingginya kandungan klorofil di perairan mengindikasikan terjadinya *blooming* fitoplankton yang mengganggu keseimbangan struktur ekosistem perairan secara keseluruhan.

I.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui struktur komunitas fitoplankton di perairan danau Rawa Pening.
2. Mengetahui produktivitas primer fitoplankton di perairan danau Rawa Pening, yang diestimasi dengan kandungan klorofil fitoplankton.

3. Mengetahui pengaruh penutupan badan air oleh *Eichhornia crassipes* terhadap beberapa variabel biologi, fisika dan kimia perairan dibawahnya
4. Menetapkan tingkat trofik perairan Rawa Pening berdasarkan pada kandungan nitrogen, kandungan fosfor dan kandungan klorofil.

I.4. Manfaat

Penetapan tingkat trofik berdasarkan produktivitas primer fitoplankton dan kandungan bahan organik terlarut diharapkan akan menjadi dasar bagi upaya manajemen perairan Rawa Pening, sebagai perairan yang telah mengalami proses eutrofikasi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memonitor kualitas biologi dan kimia air, khususnya tingkat produktivitas primernya. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan masukan bagi upaya konservasi perairan Rawa Pening yang saat ini sedang dilakukan oleh banyak kalangan baik itu instansi pemerintah, instansi swasta maupun para pemerhati lingkungan. Selain itu juga diharapkan akan diketahui sebaran konsentrasi klorofil yang dapat dibandingkan antara beberapa tempat di perairan Rawa Pening.

I.5. Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada ekologi fitoplankton, dan dalam hubungannya dengan berbagai faktor fisik kimia perairan. Penelitian ini belum bertujuan mencari model lingkungan (model eutrofikasi), disebabkan oleh banyaknya kesulitan yang harus dihadapi dan keterbatasan waktu penelitian. Penelitian baru sebatas mencari hubungan-hubungan yang mungkin ada dari berbagai faktor fisik kimia dan biologi.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Air merupakan medium internal universal untuk semua benda hidup. Air menyusun tubuh makhluk hidup dalam komposisi yang cukup tinggi, hingga mencapai 90%. Air juga merupakan medium eksternal bagi semua bentuk-bentuk kehidupan akuatik. Hampir semua reaksi kimia yang terjadi di biosfer ini membutuhkan air sebagai pelarut, sehingga air disebut sebagai pelarut universal (*universal solvent*). Air memiliki kapasitas panas yang tinggi, yang memberikan kemampuan yang cukup tinggi untuk menyerap energi panas, dengan sedikit mengalami kenaikan suhu jika dibandingkan dengan material yang lain. Dengan kemampuan ini berbagai organisme akuatik tidak membutuhkan adaptasi khusus untuk menghadapi fluktuasi suhu yang sangat tinggi, atau menghadapi perubahan suhu yang cepat. Dibandingkan dengan material atau larutan yang lain, air merupakan material yang esensial. Pada saat air dalam kondisi jernih, cahaya akan mampu menembus cukup dalam ke badan air. Hal ini berarti fotosintesis akan terjadi dalam badan air, setidaknya hingga kedalaman di mana cahaya mampu menembus badan air tersebut. Hal ini akan menunjang pertumbuhan dan produksi primer oleh berbagai tanaman akuatik dan produsen planktonik, dalam menyediakan sumber nutrisi bagi konsumen akuatik (Kupchella and Hyland, 1993).

II.1. AIR TAWAR DAN SISTEM PERAIRAN TAWAR

Sebagian besar air yang ada di permukaan bumi merupakan air laut (97%). Air tawar sendiri hanya sebagian kecil dari seluruh persediaan air di bumi.

Sebagian besar air tawar terkonsentrasi dalam bentuk danau, rawa dan sungai. Persediaan air tawar di dunia hampir seluruhnya berasal dari penguapan air laut. Proses-proses yang tercakup dalam proses penguapan air laut, turun sebagai hujan dan kembali lagi ke laut, membentuk satu siklus yang disebut siklus hidrologi (Wetzel, 1983 ; Linsley dan Franzini, 1985 ; Kupchella and Hyland, 1993 ; UNEP, 2000).

Air adalah salah satu material yang sangat esensial dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup yang lain. Khusus untuk air tawar, merupakan material yang sangat nyata dibutuhkan dalam banyak aktivitas kehidupan. Bukan hanya untuk kepentingan domestik (termasuk air minum), namun juga untuk kepentingan irigasi pertanian, kepentingan industri, dan pemanfaatan sebagai sumber energi (Mader, 1996).

Namun saat ini sumber-sumber air yang dibutuhkan tersebut (baik air permukaan maupun air bawah tanah) telah banyak tercemar, yang diakibatkan oleh aktivitas industri dan pertanian. Pembuangan limbah ke perairan (baik limbah domestik, industri maupun limbah pertanian) selalu memiliki kontribusi yang cukup besar dalam menciptakan satu masalah serius dalam perairan (Sawyer, McCarty dan Parkin, 1994). Beberapa tahun terakhir, laju pencemaran air bahkan melebihi laju pertumbuhan penduduk. Pencemaran air yang berasal dari aktivitas domestik, industri, dan pertanian merupakan hasil dari perkembangan teknologi dan gaya hidup (Kupchella dan Hyland, 1993). Pencemaran juga terjadi karena adanya kesalahan pengelolaan (*mistreatment*) lingkungan, kegiatan yang berkaitan dengan atom dan juga proses-proses biologi alamiah (eksresi) (Nebel and Wright, 1993).

Barus (2002) menyebutkan bahwa ekosistem air merupakan sumber daya air yang paling praktis untuk kepentingan domestik maupun industri. Selain itu air tawar, menawarkan sistem pembuangan berbagai jenis limbah yang memadai dan paling murah. Dan karena alasan inilah sistem perairan sering disalahgunakan sebagai media pembuangan limbah, tanpa melalui proses pengolahan yang memenuhi persyaratan.

Sistem perairan tawar secara garis besar dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem perairan mengalir (*flowing water* / lotik) dan sistem perairan diam (*standing waters* / lentik). Sistem perairan mengalir (lotik) dicirikan oleh adanya pergerakan air (aliran air) yang kontinyu dan menuju ke satu arah tertentu. Sistem perairan ini juga menyebabkan erosi pada sisi luar pergerakan air dan membentuk satu saluran tertentu. Bentuk dari sistem perairan mengalir ini adalah sungai (baik sungai yang terjadi karena proses alam ataupun buatan manusia). Sistem perairan diam (lentik) terdiri dari beberapa jenis yang dikenal, diantaranya danau, kolam dan rawa. Danau merupakan sistem perairan diam yang terjadi secara alami. Biasanya dalam satu danau yang dalam terjadi diferensiasi panas (stratifikasi termal), cahaya dan struktur fisik. Kolam secara visual hampir sama dengan danau dan seringkali sangat sulit membedakannya dalam deskripsi. Namun demikian secara garis besar perbedaannya terletak pada adanya beberapa fungsi kolam yang disesuaikan dengan kebutuhan manusia serta beberapa biota spesifik yang tidak terdapat pada danau dan sebaliknya. Ukuran kolam juga relatif lebih kecil dan lebih dangkal jika dibandingkan dengan danau. Sistem perairan diam yang terakhir adalah *wetland*. Sistem perairan ini, walaupun masih terisi oleh air, namun telah memiliki berbagai vegetasi yang merupakan tumbuhan teresterial dan

bahkan tumbuhan tingkat tinggi. Sistem perairan tawar yang lain, yang biasanya dibuat oleh manusia adalah bendungan dan kanal. Kedua bentuk inipun merupakan medium hidup bagi berbagai biota perairan tawar (Jeffries and Mills, 1996).

II.2. PENCEMARAN AIR

Sangat mudah membuang limbah atau sampah ke badan air seperti sungai dan danau. Dalam jumlah sedikit atau banyak, dalam intensitas yang tinggi ataupun rendah, sampah atau limbah ini mungkin akan terbawa aliran air, namun tidak pernah hilang dari badan air tersebut. Kadang-kadang dalam sistem air mengalir (sungai) material ini akan kembali muncul di bagian hilir (*downstream*), dengan bentuk persenyawaan yang berbeda atau semu (*diluted*). Sistem badan air tawar mungkin memiliki kemampuan untuk menetralkan material yang masuk tersebut, namun dengan berlebihannya konsentrasi material yang masuk (*overload*) seperti saat ini, kemampuan tersebut mungkin tidak lagi mampu mengimbangi jumlah material yang masuk. Hasil *overload* material ini, dalam satu ekosistem seringkali menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem tersebut, dan disebut dengan pencemaran (EC, 2002).

Pencemaran air sendiri diartikan sebagai penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, namun bukan penyimpangan dari sifat kemurniannya (Fardiaz, 1992). Air dikatakan telah mengalami pencemaran apabila pembebasan atau pelepasan bahan-bahan buangan (kontaminan) telah berada pada tingkat membahayakan fungsi dari badan air tersebut (Ryadi, 1984).

Walaupun air yang ada di bumi ini tidak pernah berada dalam keadaan murni, namun bukan berarti kondisi tersebut dikatakan tercemar. Misalnya air di pegunungan atau hutan yang terpencil dan dengan kondisi lingkungan yang masih bersih. Air hujan di daerah tersebut biasanya mengandung bahan-bahan terlarut seperti CO_2 , O_2 dan N_2 , serta bahan-bahan tersuspensi seperti debu dan partikel-partikel lain yang terbawa dari atmosfer. Air permukaan biasanya mengandung komponen-komponen metal terlarut seperti Na, Mg, Ca, dan Fe. Air yang mengandung komponen-komponen tersebut dalam jumlah tinggi sering disebut sebagai “air sadah”. Air minum juga bukan merupakan air murni. Meskipun dalam jumlah dan konsentrasi yang sangat kecil, air minum masih mengandung bahan-bahan terlarut dan mikroorganisme tertentu (Fardiaz, 1992).

Air yang telah tercemar akan mengalami perubahan-perubahan, baik fisik maupun kimianya. Ciri dari perubahan sifat ini bergantung pada bahan kontaminan yang masuk ke badan perairan. Rasa, bau dan warna adalah kondisi yang secara sederhana mudah untuk dideteksi, walaupun hasilnya sangat subyektif. Bahan-bahan pencemar yang sering masuk ke badan perairan, biasanya dibedakan dalam sembilan golongan, yaitu bahan padatan, bahan-bahan yang membutuhkan oksigen (*oxygen-demanding waste*), mikroorganisme, komponen organik sintetik, nutrien tanaman, minyak, senyawa anorganik dan mineral, bahan radioaktif dan panas. Pengelompokan tersebut memang bukan merupakan pengelompokan yang baku, namun setidaknya dengan pembagian jenis-jenis bahan kontaminan tersebut akan lebih memudahkan dalam hal pembahasan masalah-masalah pencemaran (Fardiaz, 1992 ; Sastrawijaya, 2000).

Pencemaran air tidak selalu harus nampak secara visual. Satu sistem perairan (danau dan sungai) yang terlihat bersih, dapat saja menyimpan masalah pencemaran yang berat. Pengaruh dari bahan pencemar juga seringkali muncul setelah selang waktu tertentu (bisa mencapai beberapa tahun). Pencemaran air bukan hanya menyebabkan air tersebut tidak layak lagi digunakan dalam berbagai kepentingan, namun juga akan menghilangkan satu aspek estetika (kepentingan rekreasi). Air yang tercemar ini juga akan merusak kehidupan akuatik dan mengurangi kemampuan reproduksi organisme akuatik, yang selanjutnya juga akan mengancam kesehatan manusia (EC, 2002).

II.3. ASPEK KIMIA DAN FISIKA PERAIRAN

2.3.1. Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas air. Oksigen terlarut ini akan berpengaruh langsung pada kemampuan organisme air untuk bertahan di perairan tercemar. Pada perairan yang jenuh, biasanya mengandung oksigen dalam rentang 8 – 15 mg/L, tergantung pada salinitas dan temperatur. Bagi organisme-organisme akuatik, biasanya membutuhkan oksigen pada konsentrasi 5 – 8 mg/L, untuk dapat hidup secara normal (Masters, 1991).

2.3.2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah istilah untuk mengekspresikan intensitas dari asam atau basa suatu larutan atau cairan. Derajat keasaman bukan hanya berfungsi untuk menyatakan konsentrasi ion hidrogen, namun juga mampu

mengekspressikan aktivitas ion hidrogen dan tingkat alkalinitas perairan (Sawyer, McCarty and Parkin, 1994 ; Shaw, 1994). Nilai pH air yang normal (pH netral) berkisar antara 6 – 8, sedangkan air yang tercemar bervariasi menurut bahan kontaminan yang masuk ke badan perairan (Fardiaz, 1992).

2.3.3. Nitrogen

Nitrogen menjadi salah satu unsur yang menarik banyak ilmuwan lingkungan karena peranannya yang penting baik di atmosfer maupun dalam siklus kehidupan organisme, baik hewan maupun tumbuhan. Kompleksitas kimia nitrogen dikarenakan sebagian tahap siklus nitrogen berada dalam siklus hidup organisme. Bahkan siklus nitrogen yang teroksidasi oleh bakteri dapat bersifat positif maupun negatif, tergantung pada kondisi lingkungan bakteri tersebut, aerobik atau anaerobik (Sawyer, McCarty and Parkin, 1994).

Nitrogen terlarut di perairan dalam bentuk nitrit dan nitrat dengan konsentrasi 10 sampai 1000 $\mu\text{g/L}$ dan amonia dengan konsentrasi di bawah 150 $\mu\text{g/L}$ untuk perairan normal (Reynolds, 1993). Selain karbon, nitrogen tersedia dalam jumlah yang cukup besar di lingkungan. Makhluk hidup membutuhkan nitrogen terutama untuk pembentukan asam amino dan asam nukleat (Furnas dalam Connel dan Hawker, 1992). Selain dalam bentuk nitrit dan nitrat nitrogen dapat terlarut pada perairan dalam bentuk nitrogen organik (biasanya berasal dari limbah domestik), ammonia atau garam amonium. Tingkat kandungan nitrogen selain dapat mempengaruhi produktivitas primer, juga dapat dijadikan parameter terjadinya pencemaran oleh limbah organik (Mahida, 1986 ;

Furnas dalam Connel dan Hawker, 1992 ; Sawyer, McCarty and Parkin, 1994 ; Shaw, 1994).

2.3.4. Fosforus

Di perairan, unsur fosfor terlarut dalam bentuk ion orthofosfat (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) atau dalam bentuk organik (Furnas dalam Connel dan Hawker, 1992 ; Reynolds, 1993). Fosfor yang masuk ke perairan berasal dari pelapukan tanah dan batu, hasil dari siklus fosfor (organisme yang mati) dan fosfor yang sudah terlarut di perairan itu sendiri. Fosfor tersebut baru bisa dimanfaatkan oleh fitoplankton maupun tumbuhan air yang lain setelah diubah menjadi ion orthofosfat atau fosfat organik dengan bantuan bakteri (Waite, 1984). Konsentrasi fosfor pada perairan normal berkisar antara 0,1 sampai 1000 $\mu\text{g/L}$ (Reynolds, 1993).

2.3.5. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) diartikan sebagai jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam memecah atau mengoksidasi bahan-bahan organik terlarut. Parameter BOD tidak menunjukkan jumlah materi organik yang terlarut dalam air, melainkan hanya mengukur atau mengestimasi jumlah oksigen secara relatif yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mengoksidasi bahan-bahan organik. Biasanya BOD ditunjukkan dengan BOD_5 , yang berarti kebutuhan oksigen mikroorganisme tersebut selama lima hari (Fardias, 1992 ; Sastrawijaya, 2000). BOD juga diartikan sebagai kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme dalam usaha stabilisasi materi organik yang *decomposable* pada kondisi aerobik. Istilah *decomposable* dapat diinterpretasikan sebagai bahan organik yang

dimanfaatkan sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme. Energi akan dilepaskan pada proses oksidasi bahan ini (Sawyer, McCarty and Parkin, 1994).

2.3.6. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Bahan-bahan organik yang masuk ke perairan mungkin tidak dapat terurai secara biologis. Sehingga uji kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik, ditentukan dengan bahan-bahan oksidan (yang sering digunakan adalah kalium kromat). Kelebihan COD dibandingkan dengan BOD adalah hasil kuantitas oksidasi yang lebih banyak. Hasil yang didapatkan BOD selama lima hari, setara dengan hasil COD selama 10 menit. Hasil oksidasi bahan-bahan organik terlarut berupa air dan karbondioksida (Fardias, 1992 ; Sawyer, McCarty and Parkin, 1994 ; Sastrawijaya, 2000).

2.3.7. Suhu

Air seringkali dimanfaatkan sebagai medium pendingin dalam berbagai proses industri. Dari interaksi dengan bahan atau alat yang digunakan, air akan mengalami peningkatan suhu dari suhu awal ketika diambil dari sumber. Beberapa akibat yang dapat terjadi akibat kenaikan suhu air ini adalah :

- a. Penurunan jumlah oksigen terlarut dalam air.
- b. Peningkatan kecepatan reaksi kimia.
- c. Gangguan terhadap kehidupan ikan dan hewan air.
- d. Pada satu batasan tertentu, akan berakibat fatal bagi organisme perairan.

Biota perairan (misalnya ikan) yang berada dalam lingkungan air dengan suhu yang relatif lebih tinggi, akan terpacu laju respirasinya, yang juga berkaitan dengan turunnya jumlah oksigen terlarut (Masters, 1991 ; Fardiaz, 1992). Secara langsung suhu mempengaruhi laju metabolisme pada organisme, ukuran individu dan keragaman jenis pada komunitas (Hutabarat dan Evans, 1984 ; Shaw, 1994).

2.3.8. Turbiditas

Turbiditas adalah istilah yang dipergunakan untuk menyatakan jumlah relatif materi tersuspensi yang secara langsung akan membatasi penetrasi cahaya yang masuk ke badan perairan (berkaitan langsung dengan kecerahan). Turbiditas merupakan keadaan tingkat kekeruhan, yang diakibatkan oleh berbagai partikel terlarut, seperti material sedimen yang terangkat, mikroorganisme dan partikel lain. Partikel-partikel yang tersuspensi ini bervariasi dalam hal ukuran, dari materi-materi koloid hingga butiran-butiran kasar. Pada danau, rawa atau perairan lain yang relatif tenang, partikel biasanya bervariasi dari materi-materi koloid hingga ke materi-materi yang lebih halus. Turbiditas ditentukan dengan satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) (Sawyer, McCarty and Parkin, 1994 ; Shaw, 1994). Turbiditas akan menjadi faktor pembatas proses fotosintesis (Barnes dan Man, 1980; Nybakken, 1992).

II.4. EUTROFIKASI

2.4.1. Pengertian Eutrofikasi

Secara umum eutrofikasi adalah kondisi “pengkayaan unsur hara” pada suatu badan perairan. Eutrofikasi diperkenalkan oleh Weber pada tahun 1907,

dengan mendeskripsikan pengertian oligotrofik, mesotrofik dan eutrofik (Hutchinson 1969 dalam Connel dan Miller, 1995). Deskripsi berikutnya juga dilakukan oleh Naumann pada tahun 1919, yang mendeskripsikan konsep oligotrofik dan eutrofik dengan berdasarkan pada kandungan mikroalga (Jorgensen and Johnsen, 1989).

Eutrofikasi merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan pengaruh biologi dari peningkatan konsentrasi unsur hara tanaman dalam satu ekosistem perairan. Parameter yang digunakan dalam hal ini biasanya adalah nitrogen dan fosforus, walaupun kadang-kadang unsur-unsur yang lain dipergunakan juga dalam kajian eutrofikasi, misalnya silika, potasium, besi dan mangan (Harper, 1992). Definisi lain tentang eutrofikasi adalah proses pengayaan (*enrichment*) sistem biologi oleh elemen-elemen nutrisi (unsur hara), terutama oleh nitrogen dan fosforus (Barus, 2002). Implikasinya adalah pada peningkatan produksi dan biomassa alga, perifiton dan biomassa tanaman air yang lebih tinggi (makrofita) yang distimulasi oleh peningkatan unsur-unsur tersebut. Eutrofikasi mengacu pada peningkatan laju penambahan nutrisi di dalam sistem perairan, dan biasanya terjadi karena aktivitas antropogenik (Sutcliffe dan Jones, 1992 ; Nebel and Wright, 1993 ; Schnoor, 1996). Secara singkat eutrofikasi dapat didefinisikan sebagai proses penyuburan perairan (proses menjadi lebih produktif) yang diakibatkan oleh penambahan materi (nutrien) anorganik (Welch, 1992).

2.4.2. Penyebab Terjadinya Eutrofikasi

Penyebab terjadinya eutrofikasi menurut Morse et al (1993 dalam Saefumillah, 2003) (*The Economic and Environment Impact of Phosphorus*

Removal from Wastewater in the European Community), 10 persen berasal dari proses alamiah di lingkungan air itu sendiri (*background source*), 7 persen dari industri, 11 persen dari detergen, 17 persen dari pupuk pertanian, 23 persen dari limbah manusia, dan yang terbesar, 32 persen, dari limbah peternakan. Paparan statistik di atas (meskipun tidak persis mewakili data di Indonesia) menunjukkan bagaimana berbagai aktivitas masyarakat di era modern dan semakin besarnya jumlah populasi manusia menjadi penyumbang yang sangat besar bagi lepasnya fosfor ke lingkungan air.

a. Peningkatan bahan kimia organik

Peningkatan kandungan bahan kimia organik ke sistem aquatik akan menyediakan nutrisi yang cukup bagi dekomposer, yaitu organisme yang memanfaatkan bahan-bahan kimia organik terlarut sebagai sumber energi dan nutrisi. Masalah akan timbul ketika aktivitas ini meningkat sampai pada tingkat di mana dekomposer menggunakan semua oksigen yang tersedia sebagai oksidator materi organik (Kupchella dan Hyland, 1993 ; Barus 2002).

Derajat pencemaran oleh bahan-bahan organik ini, yang akan memacu konsumsi oksigen dari badan air dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jumlah oksigen yang terlarut di badan air dan jumlah air yang diterima dari pelepasan (*outlet* limbah). Sedikit lebih baik kondisinya pada sistem perairan yang mengalir (sungai) dan dalam keadaan suhu rendah, di mana materi organik yang dilepaskan dalam jumlah yang besar, segera lepas mengikuti aliran air yang jenuh dengan oksigen. Pada sistem aliran sungai (pada suhu dingin) memberikan keuntungan pada satu hal, yaitu memperlambat proses dekomposisi, sehingga

oksigen terlarut relatif lebih baik pada sistem perairan ini (Kupchella dan Hyland, 1993).

b. Peningkatan materi kimia anorganik

Faktor kedua yang mampu memacu proses eutrofikasi suatu sistem perairan adalah peningkatan materi anorganik, terutama fosforus dan nitrat (nitrogen) (Kupchella dan Hyland, 1993). Fosforus dan nitrogen merupakan materi anorganik, yang apabila dalam konsentrasi tinggi dalam sistem perairan, akan memacu pertumbuhan alga (ke arah *blooming* populasi) (Sawyer, McCarty dan Parkin, 1994).

Materi-materi ini dapat masuk ke sistem perairan secara langsung melalui berbagai materi yang sering digunakan dalam kehidupan manusia. Beberapa jenis deterjen mengandung sejumlah besar fosfor (dalam bentuk tripolifosfat) dan penggunaan pupuk fosfat dan nitrat dalam berbagai usaha pertanian, memberikan kontribusi yang signifikan dalam memacu proses eutrofikasi. Pencemaran fosfat merupakan masalah utama karena di banyak belahan bumi (termasuk juga di negara maju seperti Amerika Serikat), bentuk senyawa fosfor ini seringkali menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman pada sistem perairan. Hal ini dapat diartikan bahwa apabila senyawa ini ditambahkan dalam *input* perairan, maka pertumbuhan tanaman air akan dengan cepat terpacu (Jorgensen and Johnsen, 1989 ; Kupchella dan Hyland, 1993).

Thomas (1969 dalam Harper, 1992) melaporkan bahwa fosforus merupakan elemen utama yang memacu pertumbuhan alga di banyak danau di Eropa hingga pertengahan abad ini. Pada sistem perairan yang oligotrofik

konsentrasi fosforus sangat rendah, selama musim panas. Namun konsentrasi nitrogen cukup tinggi. Hal ini dikarenakan fitoplankton tidak mampu menggunakan nitrogen yang tersedia di perairan karena pembatasan jumlah fosfor di perairan. Dalam satu penelitian laboratorium dilaporkan bahwa penambahan fosfor dan nitrogen tanpa peningkatan sumber nutrisi yang lain sudah cukup untuk meningkatkan pertumbuhan fitoplankton (Jorgensen and Johnsen, 1989).

Namun demikian, walaupun peningkatan jumlah fosforus ini mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman air, yang juga berimplikasi pada peningkatan fotosintesis, di sisi lain respirasi tanaman dan dekomposisi tanaman air yang mati menimbulkan masalah baru yang sama dengan masalah yang diakibatkan oleh peningkatan bahan organik (Kupchella dan Hyland, 1993).

2.4.3. Pengaruh Yang Timbul Akibat Terjadinya Eutrofikasi

Peningkatan suplai dan ketersediaan nutrisi yang melimpah dalam sistem perairan akan berakibat pada laju produktivitas primer tanaman dan besarnya *standing crop biomass* yang harus dijalankan dan proporsi relatif spesies yang berbeda. Suplai nutrisi adalah faktor lingkungan yang berpengaruh pada produktivitas primer, disamping ketersediaan cahaya dan temperatur sebagai faktor pendukung yang juga cukup penting. Peningkatan biomassa produsen pada sistem perairan pada akhirnya akan mengakibatkan kompetisi dalam mendapatkan cahaya sebagai sumber energi untuk fotosintesis (EC, 2002).

Produksi tanaman pada akhirnya dimanfaatkan oleh konsumen, baik pada saat tanaman tersebut masih hidup (*grazing*) atau setelah tanaman tersebut mati (*detritus*). Sehingga pengaruh peningkatan nutrisi pada sistem perairan bagi

konsumen adalah tidak langsung, misalnya pada perubahan jumlah atau kelimpahan relatif dan sistem alamiah sumber makanan, yang bisa mengalami perubahan kompetisi produsen. Pengaruh tidak langsung ini juga dapat diakibatkan oleh perubahan lingkungan sebagai habitat organisme tersebut, misalnya perubahan pH, pengurangan konsentrasi oksigen sebagai konsekuensi dari peningkatan bakteri dekomposer (Harper, 1992 ; EC, 2002).

2.4.4. Tinjauan Planktonik Eutrofikasi

a. Plankton dan Fitoplankton

Plankton adalah organisme perairan yang umumnya berukuran mikroskopis. Kata plankton dapat diartikan sebagai organisme dengan kemampuan gerak yang sangat lemah. Kemampuan gerak yang sangat lemah ini menyebabkan pergerakan maupun distribusi plankton sangat tergantung pada gerakan air. Berdasarkan kedudukan dalam tingkatan trofik, plankton dapat dibedakan menjadi fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton merupakan organisme produsen mikroskopis di perairan, dan zooplankton yang merupakan organisme herbivora dan tingkat karnivora pertama di perairan. Pembagian lain adalah berdasarkan siklus hidup plankton, yang dibedakan menjadi holoplankton dan meroplanktonik. Holoplankton adalah plankton yang seluruh siklus hidupnya bersifat planktonik, sedangkan meroplankton hanya menghabiskan sebagian dari siklus hidupnya sebagai plankton (Nybakken, 1992 ; Barus, 2002).

Fitoplankton merupakan kelompok yang memegang peran penting dalam ekosistem perairan, dengan kemampuannya melakukan proses fotosintesis (produsen primer). Kedudukan fitoplankton sebagai produsen menyebabkan tidak

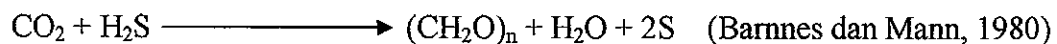
semua zonasi vertikal badan air dapat dihuni oleh fitoplankton. Hanya zona eufotik dapat dihuni oleh fitoplankton, karena pada zona ini cahaya matahari masih mungkin menembus badan air sebagai sumber energi untuk fotosintesis. Keberadaan fitoplankton sebagai produsen utama di perairan, adalah karena mampu melakukan sintesis ikatan-ikatan organik yang kompleks dari senyawa anorganik sederhana dan didukung oleh kemampuan menyerap nutrisi dari lingkungan secara efektif. Produktivitas primer fitoplankton sangat besar, bahkan lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman tingkat tinggi. Hal ini berdasarkan kenyataan bahwa fitoplankton tersebar di perairan yang luasnya meliputi 70% luas seluruh permukaan bumi. Hasil fotosintesis ini pada akhirnya akan digunakan sebagai sumber energi pada tingkat trofik berikutnya. Fitoplankton sebagai produsen primer di perairan akan melepas energi untuk dapat digunakan oleh konsumen tingkat pertama, tingkat kedua dan seterusnya, yang pada akhirnya akan sampai pada dekomposer atau pengurai (Payne, 1986 ; Nybakken, 1992 ; Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995 ; Barus, 2002).

b. Produktivitas Primer Fitoplankton

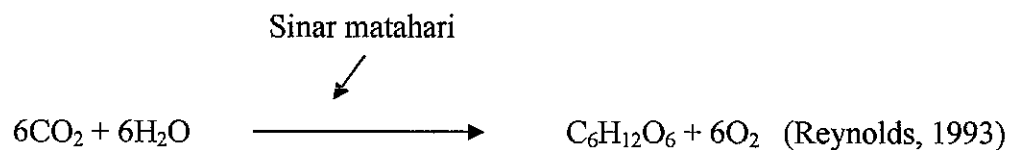
Produktivitas merupakan istilah umum dalam ekologi, yang digunakan proses pemasukan dan penyimpanan energi di dalam ekosistem. Produktivitas primer meliputi pemasukan-pemasukan yang mencakup pemindahan energi cahaya menjadi energi kimia oleh produsen (McNaughton dan Wolf, 1990).

Produktivitas primer dapat diartikan sebagai laju pembentukan senyawa organik dari senyawa anorganik. Produktivitas primer ini juga dianggap sama

dengan fotosintesis. Pengertian ini tidak selamanya benar mengingat bahwa sejumlah kecil dari produktivitas primer dihasilkan oleh bakteri kemosintetik, sebagai contoh adalah bakteri sulfur, yang secara umum reaksi sintesisnya adalah sebagai berikut :



Dalam penelitian ini hanya akan dibicarakan tentang produktivitas primer fitoplankton, dengan asumsi semua berasal dari proses fotosintesis. Bahan dasar fotosintesis adalah bahan-bahan anorganik diantaranya karbondioksida, air dan garam-garam mineral. Dengan memanfaatkan energi cahaya matahari yang ditangkap oleh klorofil dalam kloroplast akan terjadi proses fotosintesis dengan reaksi umum sebagai berikut :



Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tersebut, dilepas untuk dipergunakan oleh organisme lain dalam proses respirasi.

2.4.5. Tingkatan Kualitas Perairan Dalam Kajian Eutrofikasi

Kualitas perairan dapat tercermin dari kondisi fisik maupun kimia perairan tersebut. Dalam kaitannya dengan produktivitas primer dan kandungan nutrisi Lind dkk dalam Straskraba (1993) membedakan kondisi perairan dalam tiga golongan seperti tersaji pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Pembagian kualitas air berdasarkan tingkatan tropik

Variabel	Satuan	Oligotropik	Mesotropik	Eutropik	Sumber
Total P	μL^{-1}	2 – 10 5 – 10 < 10	10 – 30 10 – 30 10 – 20	10 – 90 30 – 100 > 20	Sakamoto, 1966 Vollenweider, 1968 USEPA, 1974
Total N	$\mu\text{g L}^{-1}$	200 – 400	300 – 650	500–1500	Vollenweider, 1968
Klorofil a	mg m^{-3}	0,3 – 2,5 < 7	1 – 15 7 – 12	5 – 140 > 12	Sakamoto, 1966 USEPA, 1974
Kecerahan	M	> 3,7	2,0 – 3,7	< 2	USEPA, 1974

Berdasarkan variabel fosfor, nitrogen, klorofil a dan kecerahan tersebut, Barus (2002) membagi tingkatan trofik suatu perairan, menjadi empat golongan seperti yang tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pembagian kualitas air berdasarkan tingkatan tropik

Variabel		Oligotropik	Mesotropik	Eutropik	Hipertropik
P total	Xq	80	26,7	84,4	
	Cl	2,9 – 22,1	7,9 – 90,8	18,8 – 424	750 – 1200
	N	21	19	71	2
N total	Xq	661	753	1875	
	Cl	208 – 2103	313 – 1816	395 – 8913	
	N	11	8	37	
Klorofil a	Xq	1,7	4,7	14,3	
	Cl	0,4 – 7,1	1,9 – 11,6	3,1 – 66	16 – 150
	N	22	16	70	2
Klorofil a maks	Xq	4,2	16,1	42,6	
	Cl	1,5 – 13	4,9 – 52,5	6,7 – 270	
	N	16	12	46	
Kecerahan	Xq	9,9	4,2	2,5	
	Cl	3,6 – 28	1,4 – 13	0,9 – 6,7	0,4 – 0,5
	N	13	20	70	2

Keterangan : Xq : nilai rata-rata (berdasarkan transformasi log)
 Cl : selang kepercayaan 95% ($Xq \pm 2$)
 N : jumlah danau yang diteliti

Sebagai perbandingan pengelompokan tersebut di atas, OECD (1982 dalam Ryding dan Rust, 1989) membedakan tingkatan trofik suatu perairan, seperti tersaji pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Pembagian tingkatan trofik perairan

Kelompok trofik	Konsentrasi rata-rata klorofil ($\mu\text{g/L}$)	Konsentrasi maksimum klorofil ($\mu\text{g/L}$)	Kecerahan rata-rata (m)	Kecerahan minimum (m)	Total P ($\mu\text{g/L}$)
Ultra oligotrofik	<1	<2.5	>12	>6.0	< 4.0
Oligotrofik	<2.5	<8	>6	>3.0	<10.0
Mesotrofik	2.5 – 8	2.5 – 8	6 – 3	3 – 1.5	10 – 35
Eutrofik	8 – 25	8 – 25	3 – 1.5	1.5 – 0.7	35 – 100
Hipereutrofik	>25	>25	<1.5	<0,7	>100

Keterangan :

1. Konsentrasi rata-rata klorofil, merupakan konsentrasi rata-rata klorofil a di air permukaan
2. Konsentrasi maksimum klorofil, merupakan konsentrasi maksimum klorofil a di air permukaan
3. Kecerahan rata-rata, merupakan angka kecerahan (transparansi) rata-rata
4. Kecerahan minimum, merupakan angka kecerahan minimum
5. Total P, merupakan konsentrasi total fosforus dalam perairan

Selain pembagian trofik berdasarkan parameter-parameter tersebut di atas, Klee (1991 dalam Barus, 2002) juga membagi tingkatan trofik berdasarkan hasil analisis komunitas fitoplankton, yang juga sering diaplikasikan untuk ekosistem sungai. Pembagian tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Pembagian kualitas air berdasarkan parameter komunitas fitoplankton

Nilai persamaan trofik	Tingkatan trofik perairan
0 – 0,3	Distrofik
< 1	Oligotrofik
1 – 2,5	Mesotrofik
3 – 5	Eutrofik
5 – 20	Politrofik
20 – 43	Politrofik sampai saprotrofik (air limbah)

Badan air secara alami, di mana kondisi dan segala proses yang terjadi di dalamnya relatif tidak terganggu oleh aktivitas manusia, secara umum berada pada kondisi oligotrofik. Hal ini berarti perairan berada pada status “miskin unsur hara”. Keadaan ini dapat terjadi karena ekosistem, secara alami, memiliki

kemampuan menahan dan mendaurulang nutrien yang masuk ke badan air. Sebaliknya kondisi eutrofik merupakan kondisi perairan yang lebih kaya akan unsur hara. Peningkatan unsur hara ini akan memacu pertumbuhan fitoplankton yang cepat, dan akan berakibat pada peningkatan turbiditas perairan. Hal ini akan menghambat pertumbuhan produsen-produsen benthik, memutus rantai makanan dan hilangnya habitat bagi beberapa spesies (Nebel and Wright, 1993).

BAB III. HIPOTESIS

1. Terdapat perbedaan tingkat produktivitas primer fitoplankton di perairan Rawa Pening yang tertutup oleh *Eichhornia crassipes* dan yang tidak tertutup oleh *Eichhornia crassipes*.
2. Kandungan klorofil, total nitrogen dan total fosforus perairan Rawa Pening telah menunjukkan status eutrofik.

BAB IV. METODE PENELITIAN

IV.1. Kerangka Pemikiran

Air merupakan satu sumber daya yang menjadi salah satu kebutuhan vital bagi kehidupan. Keberadaan tempat-tempat penampungan air alamiah (seperti danau dan rawa) diharapkan akan mampu menjadi cadangan air pada waktu musim kemarau. Kondisi danau atau rawa, yang diharapkan mampu menjadi cadangan air, tentunya diharapkan memenuhi berbagai persyaratan kesehatan.

Rawa Pening sebagai salah satu daerah tampungan air, memiliki kondisi yang sangat jauh dari harapan tersebut. Secara umum kualitas air Rawa Pening sangat rendah, dengan populasi tanaman air yang cukup padat, sehingga mengganggu aspek estetika. Proses penyuburan perairan dengan laju penyuburan yang cukup tinggi merupakan penyebab dari tumbuhnya gulma-gulma air tersebut. Pencemaran bahan-bahan organik yang berasal dari berbagai kegiatan masyarakat, baik di daerah atas Rawa Pening maupun di sekitar Rawa Pening, diduga menjadi penyebab utama proses penyuburan perairan Rawa Pening tersebut.

Berangkat dari kenyataan tersebut, perlu adanya suatu kajian ekologis yang diharapkan mampu menunjang berbagai kajian yang sedang atau akan dilaksanakan dalam upaya konservasi Rawa Pening. Salah satu aspek ekologis dibahas dalam penelitian adalah ekologi fitoplankton. Penelitian dilakukan dengan survei lapangan yang didukung oleh beberapa uji laboratorium.

IV.2. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di perairan Rawa Pening, Kabupaten Semarang. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 30 Mei 2003. Analisis kandungan bahan organik dalam sampel air dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga. Analisis struktur komunitas fitoplankton dilaksanakan di Laboratorium Ekologi dan Biosistemik Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro Semarang dan Balai Laboratorium Kesehatan, Tlogosari, Semarang.

IV.3. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Alat yang dipergunakan dalam penelitian

Alat	Merk / Tipe	Ketelitian
pH meter	Mettler Toledo / MP 125 WTW / D 812	2 digit 2 digit
DO meter	Mettler Toledo / MO 128 YSI / 51B	2 digit 1 digit
Turbidimeter	Jenwey / 605 Lammote / 2003	2 digit 2 digit
Flowmeter	Geopacks	2 digit
Secchi Disc	Lammote	
Mikroskop		
Sedgewick Rafter Counter		
Termometer	Mettler Toledo / MP 125 WTW / D 812	2 digit 2 digit
Planktonet		
Kamera mikroskop	Nikon / AFX – DX ₂ Nikon / AFX – 35	
Cool box		
Botol sampel (vol 200 dan 1500 ml)		
Botol kaca gelap (vol 250 ml)		

Tabel 6. Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian

Bahan	Fungsi
Formalin	Pengawetan sampel plankton
Rose bengal	Pewarnaan sel plankton
MnSO ₄	Fiksasi sampel air (analisis Winkler)
H ₂ SO ₄	Fiksasi sampel air (analisis Winkler)
Alkali Iodida	Fiksasi sampel air (analisis Winkler)
Es Batu	Pengawetan sementara sampel air

IV.4. Lokasi Titik Sampling

Rawa Pening diasumsikan sebagai satu sistem tertutup. Sistem tertutup ini kemudian dibagi menjadi tiga subsistem, yang ditentukan oleh kepadatan kualitatif populasi eceng gondok di permukaan air. Ketiga subsistem tersebut adalah tertutup sebagian oleh eceng gondok (I), tertutup penuh oleh eceng gondok (II), dan lokasi yang bebas dari eceng gondok (III). Gambaran kondisi ketiga subsistem tersebut dapat dilihat pada foto lokasi berikut ini :

Foto 1. Perairan yang bebas dari *Eichhornia crassipes*



Foto 2. Perairan yang tertutup penuh oleh *Eichhornia crassipes*



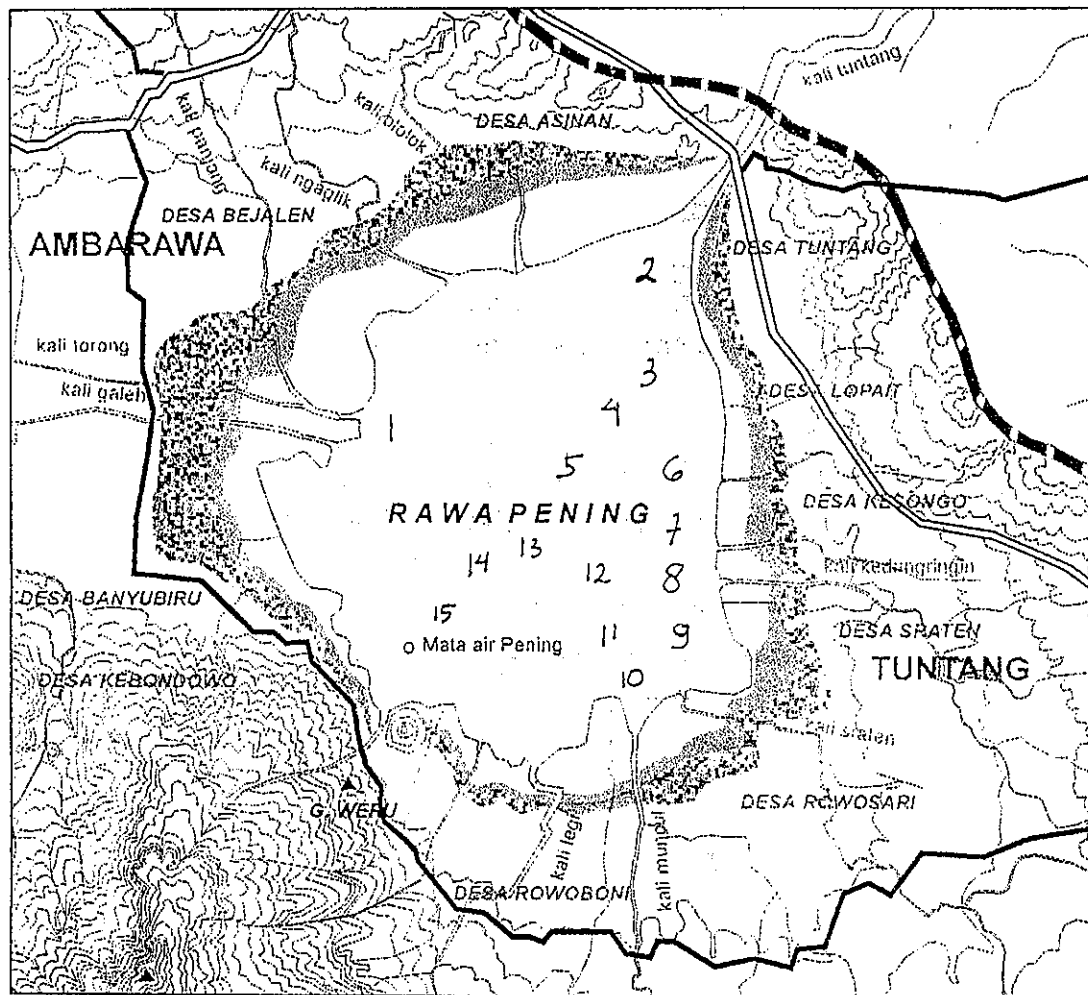
Foto 3. Lokasi yang tertutup sebagian oleh *Eichhornia crassipes*

Walaupun penentuan tiga subsistem tersebut tidak bisa ditentukan secara kuantitatif, namun diharapkan masih mampu menggambarkan kondisi Rawa Pening, setidaknya pada saat pengambilan sampel. Pada masing-masing subsistem tersebut, dilakukan pengambilan sampel di lima lokasi yang secara rinci tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Lokasi atau titik sampling di perairan Rawa Pening

Kondisi visual	Kode stasiun	Nama lokasi
Sebagian tertutup oleh <i>Eichhornia crassipes</i> (I)	1	Torong Galih
	7	Candi
	8	Kedung Ringis
	12	Segalok
	15	Bukit Cinta 2
Tertutup penuh oleh <i>Eichhornia crassipes</i> (II)	2	Tuntang
	5	Kembang Kuning 1
	6	Kembang Kuning 2
	9	Parat
	10	Muncul
Bebas dari <i>Eichhornia crassipes</i> (III)	3	Selumbu
	4	Dangkel
	11	Sebebek
	13	Ngirengan Segalok
	14	Bukit Cinta 1

Untuk gambaran lokasi yang lebih jelas dapat dilihat pada peta perairan Rawa Pening seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 01. Peta Penelitian

V.5. Pengukuran Variabel Pendukung

Variabel pendukung yang diukur dan ditentukan secara *in situ* meliputi pH, suhu, kecepatan arus, kecerahan, oksigen terlarut (DO) dan turbiditas (kekeruhan).

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter digital, dengan ketelitian hingga dua angka desimal. Dengan menggunakan alat yang sama dapat diketahui pula suhu perairan pada saat itu. Kandungan oksigen terlarut (DO) diukur secara *in-situ* dengan menggunakan DO meter digital, dengan ketelitian hingga dua angka desimal. Sebagai pembandingan dilakukan analisis oksigen terlarut dengan metode titrimetri (Winkler) di laboratorium. Untuk mengetahui tingkat kecerahan digunakan Secchi disc, sedangkan untuk mengukur kecepatan arus dan menentukan arah arus digunakan flowmeter.

IV.6. Pengambilan Sampel

a. Pengambilan sampel air untuk analisis BOD

Sampel air diambil dengan menggunakan 2 botol kaca gelap 300 ml, yang diisi dan ditutup di bawah permukaan air, untuk menghindari gelembung udara. Botol pertama difiksasi di lokasi pengambilan sampel, dengan menambahkan 2 ml MnSO_4 dan 2 ml Alkali Iodida. Botol dikocok sebentar dan didiamkan hingga terbentuk endapan berwarna putih keruh. Setelah terbentuk endapan, ditambahkan 2 ml H_2SO_4 , dan dikocok hingga endapan putih keruh yang terbentuk tersebut hilang. Botol pertama ini kemudian dititrasi dengan metode Winkler untuk mendapatkan nilai DO_0 . Botol kedua dinkubasikan selama 5 hari untuk

mendapatkan nilai DO_5 . Dalam proses transportasi ke laboratorium, kedua botol dimasukkan dalam kotak gelap untuk menghindari sinar matahari.

b. Sampel untuk analisis nitrogen dan fosforus

Sampel untuk analisis nitrogen dan fosforus diambil dari air permukaan pada kedalaman kurang lebih 50 cm. Pengambilan sampel dengan menggunakan botol sampel plastik 1500 ml yang dibuka, diisi dan ditutup di bawah permukaan air (untuk menghindari adanya gelembung udara dalam botol). Pengawetan sementara dengan menggunakan es batu, untuk mencegah atau setidaknya mengurangi aktivitas metabolisme organisme dalam air sampel. Selanjutnya sampel air tersebut segera dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis.

c. Sampel untuk Analisis Klorofil

Sampel air diambil dengan menyaring air permukaan sebanyak 250 liter dengan menggunakan jaring plankton mesh 25. Dari 250 liter air yang disaring tersebut dihasilkan sampel air untuk analisis klorofil yang lebih pekat, dengan volume 100 ml. Untuk pengawetan sementara, botol sampel yang telah diisi tersebut dimasukkan dalam kotak gelap yang berisi es batu, untuk mencegah atau mengurangi aktivitas fitoplankton.

d. Sampel air untuk Analisis komunitas Fitoplankton

Fitoplankton diambil dengan menyaring air permukaan sebanyak 50 liter menggunakan jaring plankton dengan ukuran mesh 25. Sampel air yang tersaring kemudian dimasukkan dalam botol sampel 100 ml. Ke dalam botol sampel

tersebut dimasukkan 2 ml larutan formalin 4% sebagai pengawet, dan 5 tetes larutan “rose bengal” sebagai pewarna.

IV.7. Analisis komunitas fitoplankton

Identifikasi komunitas fitoplankton pada sampel air dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40 x 10 dan Sedgwick-Rafter Counting Cell (SRC) (Brower *et. al* 1990). Pengamatan dilakukan pada 20 bidang pandang secara acak pada luasan SRC. Jumlah fitoplankton dihitung sebagai :

$$N = \frac{T}{L} \times \frac{B}{P} \times \frac{V}{v} \times \frac{1}{A}$$

Keterangan : N : jumlah individu per liter

T : jumlah kotak dalam SRC

L : jumlah kotak dalam bidang pandang

B : jumlah individu yang terlihat

P : jumlah bidang pandang yang diamati

v : volume air dalam botol sampel

V : volume air yang diamati

A : volume air yang disaring

Untuk mengkaji kelimpahan fitoplankton di perairan sungai Rawa Pening, dihitung indeks kelimpahan jenis dengan menggunakan rumus :

$$Di = \frac{ni}{N} \times 100\% \quad (\text{Magurran, 1983 ; Krebs, 1985})$$

Keterangan : D_i : indeks kemelimpahan jenis
 n_i : jumlah individu jenis ke i
 N : jumlah total individu seluruh jenis

Untuk mengkaji keanekaragaman fitoplankton di perairan Rawa Pening, dihitung indeks keanekaragaman Shannon-Wiener sebagai berikut :

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N} \text{ (Magurran, 1983 ; Krebs, 1985)}$$

Keterangan : H' : indeks keanekaragaman Shannon-Wiener
 n_i : jumlah individu jenis ke i
 N : jumlah total individu

Kemerataan fitoplankton ditetapkan dengan indeks kemerataan jenis, yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$e = \frac{H'}{\ln S} \text{ (Magurran, 1983 ; Krebs, 1985)}$$

Keterangan : e : indeks kemerataan jenis
 H' : indeks keanekaragaman Shannon-Wiener
 S : jumlah jenis

IV.8. Penentuan kandungan nitrogen dan fosfor

Bahan organik yang dianalisis meliputi kandungan nitrogen dan kandungan fosfor, dengan menggunakan Spektrofotometer Hach. Analisis dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sain dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

Langkah-langkah pengukuran kandungan nitrogen dan fosforus dengan Spektrofotometer Hach adalah sebagai berikut :

1. Program dan panjang gelombang pada Spektrofotometer Hach diatur sesuai dengan kandungan bahan kimia yang akan diukur (Tabel 8).
2. Sampel dimasukkan ke dalam cuvet spektrofotometer, dan ditambahkan pereaksi dan dibiarkan bereaksi beberapa menit (Tabel 8).
3. Sampel yang telah bercampur dengan pereaksi dimasukkan kedalam spektrofotometer, dan pada layar spektrofotometer akan tertera kandungan bahan kimia yang diukur dalam mg/L.

Tabel 8. Panjang gelombang dan pereaksi yang digunakan dalam pengukuran kandungan nitrogen dan fosforus

Kandungan	Metode	Pereaksi	λ (nm)
Nitrat	Cadmium reduction	NitraVer 5 Nitrat	500
Nitrit	Diazotization	NitraVer 3 Nitrit	507
Ammonia	Nessler	Nessler	425
Fosforus	Ascorbic Acid	PhosVer 3 Phosphate	890

IV.9. Penentuan kandungan klorofil

Penentuan kandungan klorofil menggunakan metode spektrofotometri (Krull and Muller, 1983). Penghitungan kandungan klorofil didasarkan pada absorbansi yang terukur di spektrofotometer (Geiger and Osborne, 1992). Analisis dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sain dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

Untuk menghitung konsentrasi klorofil (dalam mg/l) digunakan rumus menurut Geiger dan Osborne (1992) sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi klorofil a} = 11,85 D_{664} - 1,54 D_{647} - 0,08 D_{630}$$

$$\text{Konsentrasi klorofil b} = -5,43 D_{664} + 21,03 D_{647} - 2,66 D_{630}$$

$$\text{Konsentrasi klorofil c} = -1,67 D_{664} - 7,60 D_{647} + 24,52 D_{630}$$

D adalah panjang gelombang yang digunakan

Berdasarkan konsentrasi klorofil tersebut kemudian dihitung nilai produktivitasnya menurut Krebs (1985) sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas primer (gram C/ m}^2 \text{ / hari)} = \text{konsentrasi klorofil} \times 3,7 \times R/k$$

Keterangan : 3,7 = koefisien asimilasi

R = daya tembus cahaya (ditentukan dari kecerahan)

k = nilai *extinction* cahaya

$$k = 0,04 + 0,0088 C + 0,054 C^{2/3}$$

C = jumlah total klorofil

IV.10. Analisis data (Model hubungan antar variabel)

Data yang diperoleh dari lapangan dianalisis untuk mengetahui bagaimana model hubungan antara variabel fisika kimia perairan dengan variabel yang dipandang sebagai penentu eutrofikasi (baik itu produktivitas primer maupun kandungan klorofil). Model hubungan antar variabel dapat digambarkan dengan persamaan regresi sederhana sebagai berikut :

$$y = a + bx \text{ (Mead et. al, 1993)}$$

Keterangan : x = variabel bebas

y = variabel tak bebas

Analisis lain yang digunakan dalam menganalisis data adalah dengan deskripsi grafik dan kecenderungan hubungan yang diperlihatkan. Hipotesis yang diajukan diuji dengan menggunakan uji t satu arah. Untuk menetapkan perbedaan yang terjadi antara tiga subsistem dilakukan uji beda dua rata-rata (Sudjana, 1996), dengan persamaan sebagai berikut :

1. Uji beda dua rata-rata

Uji beda rata-rata digunakan untuk mengetahui perbedaan rata-rata variabel antara tiga sub sistem yang telah ditentukan di atas.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

H_0 : Terdapat persamaan rata-rata sampel antara ketiga subsistem

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata sampel antara ketiga subsistem

2. Uji rata-rata (uji t)

Uji t (uji rata-rata) dilakukan untuk menguji hipotesis, yang bertujuan menentukan status trofik perairan Rawa Pening.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

$$s^2 = \frac{n \sum x_i - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

H_0 : Rata-rata sampel telah berada pada status eutrofik

H_1 : Rata-rata sampel belum berada pada status eutrofik

BAB V. HASIL PENELITIAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh sejumlah data dari beberapa variabel, baik yang dapat ditentukan secara *in-situ* maupun dengan analisis secara *ex-situ*. Dari variabel-variabel yang ditentukan secara *in-situ*, dapat diketahui kondisi perairan dari variabel suhu, turbiditas, kecerahan dan oksigen terlarut. Untuk analisis secara *ex-situ*, didapatkan data untuk variabel nitrogen total, fosfat total, BOD₅, kandungan klorofil dan struktur komunitas fitoplankton.

Dari hasil penelitian, kecerahan perairan (ditentukan dengan Secchi) tertinggi terdapat di Ngirengan Segalok, dengan angka kecerahan 165 cm. Kondisi ini dimungkinkan karena lokasi relatif bersih dari populasi *Eichhornia crassipes*. Kecerahan terendah terdapat di Parat, yaitu 16 cm. Di lokasi ini terdapat cukup banyak sedimen, sehingga daya tembus cahaya terhambat.

Turbiditas perairan Rawa Pening secara umum cukup rendah, dengan turbiditas tertinggi terdapat di Parat, sebesar 28,20 NTU. Banyaknya sedimen di lokasi ini, menyebabkan tingginya angka turbiditas ini. Angka turbiditas terendah terdapat di Bukit Cinta 1, sebesar 2,37 NTU. Angka yang rendah ini juga ditunjang dengan relatif bersihnya perairan ini dari *Eichhornia crassipes*. Data selengkapnya untuk variabel fisik perairan tersaji pada Lampiran 2.

Dari penentuan analisis secara *ex-situ*, didapatkan kandungan nitrogen rata-rata sebesar 0,643 mg/L. Kandungan nitrogen tertinggi terdapat di Torong Galih, yaitu sebesar 2,880 mg/L. Kandungan nitrogen terendah sebesar 0,278 terdapat di Selumbu. Untuk kandungan total fosfat, perairan Rawa Pening memiliki kandungan rata-rata 0,179 mg/L. Kandungan total fosfat tertinggi

terdapat di Parat, sebesar 0,260 mg/L. Kandungan total fosfat terendah terdapat di Kedung Ringis, sebesar 0,110 mg/L. Nilai BOD₅ perairan Rawa Pening tertinggi terdapat Kedung Ringis (3,770 mg/L). Dan Dangkel memiliki nilai BOD₅ terendah, yaitu sebesar 0,200 mg/L. Data kimia perairan selengkapnya tersaji pada Lampiran 1.

Dilihat dari kandungan total klorofil fitoplankton, perairan Rawa Pening memiliki kandungan klorofil yang relatif berfluktuasi di antara beberapa lokasi pengambilan sampel. Kandungan klorofil a rata-rata sebesar 7,419 µg/L. Bukit Cinta 2 merupakan stasiun yang memiliki kandungan total klorofil tertinggi (21,719 µg/L) dengan kandungan klorofil a sebesar 17,685 µg/L. Stasiun yang memiliki kandungan total klorofil terendah adalah Sebebek (4,472 µg/L) dengan kandungan klorofil a sebesar 3,091 µg/L. Data kandungan klorofil selengkapnya tersaji pada Lampiran 3.

Berdasarkan konsentrasi klorofil perairan Rawa Pening tersebut, dapat diestimasi tingkat produktivitas primer fitoplankton Rawa Pening. Produktivitas tertinggi dicapai di lokasi sampling Bukit Cinta 2, yang mencapai 9,453 mgCm⁻²hari⁻¹, dan produktivitas terendah terdapat di Parat, yang hanya mencapai 0,741 mgCm⁻²hari⁻¹. Data produktivitas primer fitoplankton perairan Rawa Pening selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Dari analisis komunitas fitoplankton didapatkan jumlah individu tertinggi terdapat di Dangkel (869 individu per liter) dan jumlah terendah terdapat di Kembang Kuning 2 (258 individu per liter). Jumlah genus yang ditemukan di perairan ini rata-rata untuk tiap stasiun adalah 17 jenis. Jumlah jenis tertinggi (25 jenis) terdapat di Dangkel dan jumlah terendah (13 jenis) terdapat di tiga lokasi,

yaitu Kedung Ringis, Segalok, dan Muncul. Nilai rata-rata indeks keanekaragaman Shannon-Wiener perairan Rawa Pening adalah 2,39. Dangkel merupakan stasiun yang memiliki nilai indeks Shannon-Wiener tertinggi (2,883). Nilai indeks terendah (2,026) terdapat di Sebebek. Data komunitas fitoplankton menunjukkan tidak ada satu spesies atau genus yang selalu terdapat di semua lokasi pengambilan sampel. Komposisi komunitas fitoplankton Rawa Pening secara keseluruhan, didominasi oleh Chrysophyta (23 jenis). Phaeophyta dan Euglenophyta merupakan kelas dengan komposisi terkecil (1 jenis). Data Struktur komunitas fitoplankton selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5 dan Lampiran 6. Beberapa spesies yang ditemukan di Rawa Pening dapat dilihat pada foto-foto berikut :

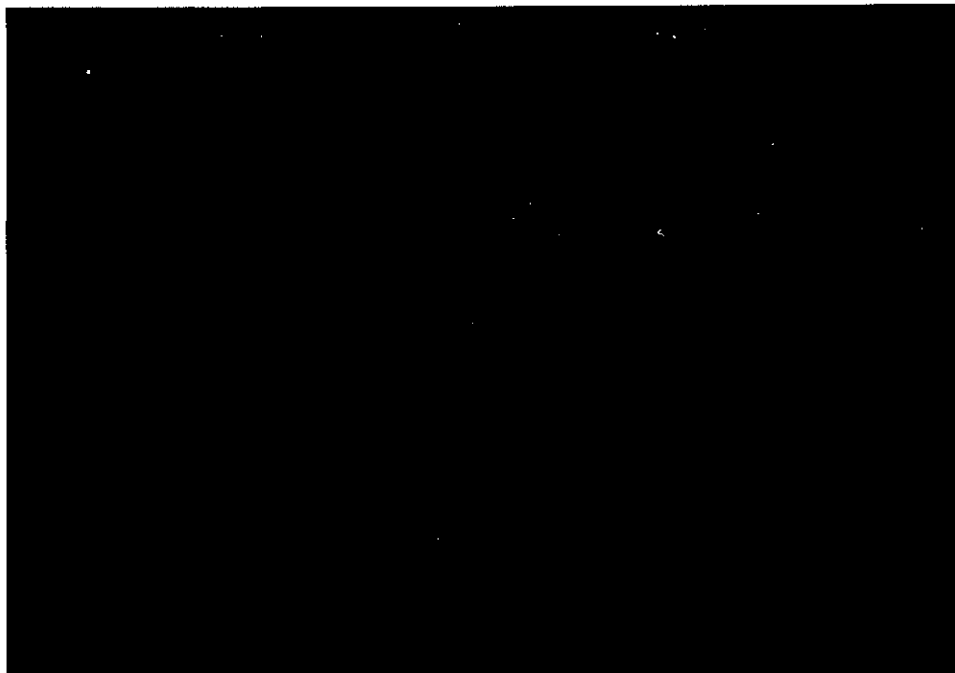


Foto 4. *Asterionella* (perbesaran 10 x 40)

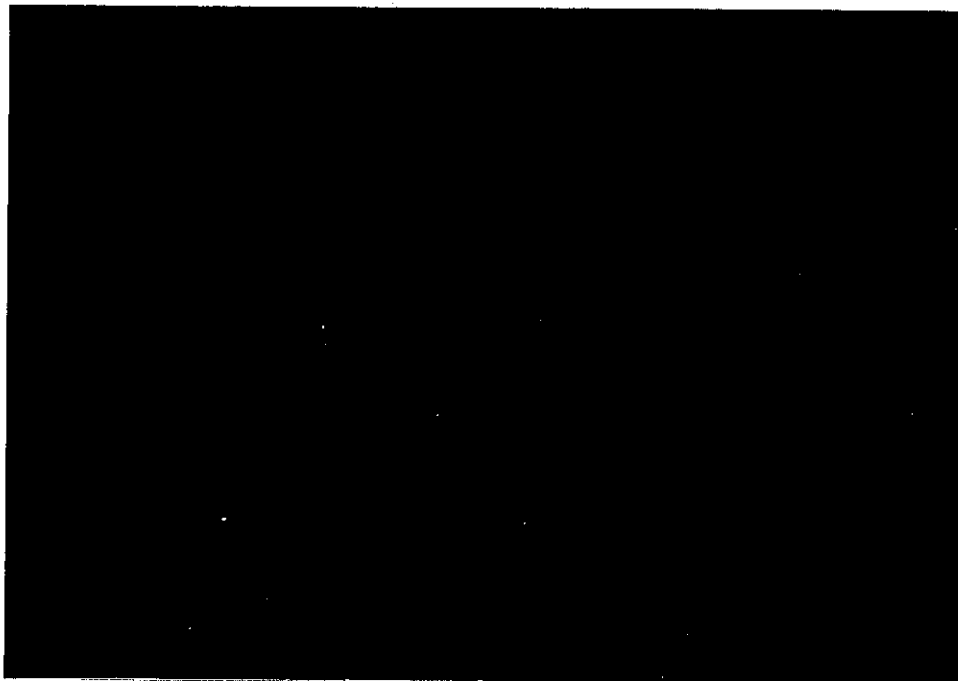


Foto 5. *Fragillaria* (perbesaran 10 x 40)

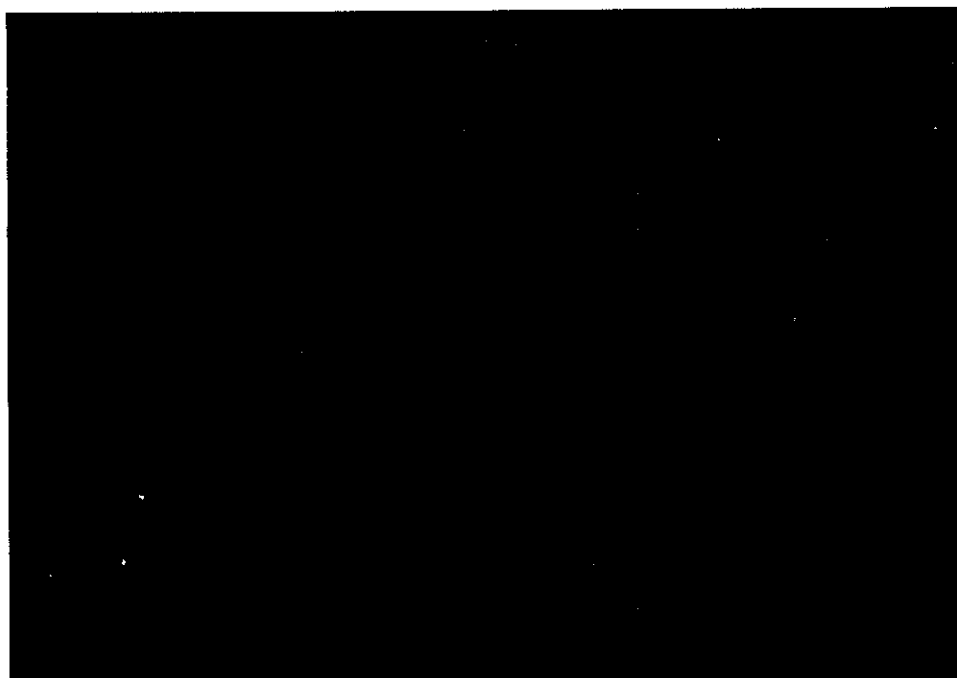


Foto 6. *Gonyaulax* (perbesaran 10 x 40)

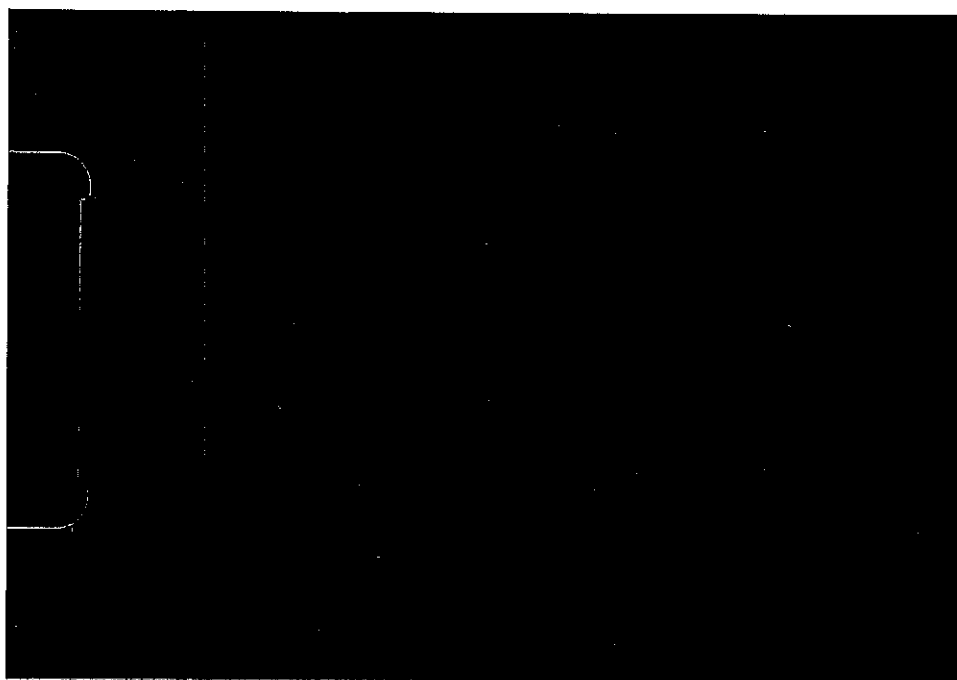


Foto 7. *Melosira* (perbesaran 10 x 40)

Secara ringkas hasil-hasil tersebut beserta perbandingan antar subsistem (untuk variabel indikator trofik) tersaji dalam Tabel 9 dan Tabel 10 berikut :

Tabel 9. Ringkasan hasil analisis variabel secara *in-situ* dan *ex-situ*

Variabel	Satuan	Tertinggi	Terendah	Rata-rata	SD
Total Nitrogen anorganik	mg/L	2.880	0.278	0.643	0.634
Total Fosfor anorganik	mg/L	0.260	0.110	0.179	0.042
BOD ₅	mg/L	3.770	0.200	2.107	1.162
Klorofil a	µg/L	2.741	0.013	7.419	4.001
Total Klorofil	µg/L	21.719	4.472	11.158	4.825
Kecerahan	Cm	165.00	16.00	118.07	39.276
Produktivitas primer	mgCm ⁻² hari ⁻¹	9.453	0.741	5.641	2.178
Turbiditas	NTU	28.200	2.370	7.760	7.217
Total individu	Individu/L	869	258	459	190.200
Indeks Shannon-Wiener	-	2.883	2.026	2.390	0.257
Indeks Margalef	-	3.681	1.995	2.644	0.501
Indeks Pemerataan	-	0.911	0.768	0.848	219.767

Keterangan : SD = standar deviasi

Tabel 10. Hasil penentuan variabel indikator tingkat trofik untuk masing-masing subsistem

Variabel		Tertinggi	Terendah	Rata-rata	SD
Total nitrogen anorganik (mg/L)	I	2.880	0.338	0.902	1.109
	II	0.746	0.389	0.574	0.135
	III	0.664	0.278	0.451	0.001
Total fosfor anorganik (mg/L)	I	0.230	0.110	0.178	0.054
	II	0.260	0.140	0.192	0.051
	III	0.190	0.150	0.168	0.319
Klorofil a (mg/L)	I	17.6853	2.7411	7.1905	0.030
	II	13.2442	4.1383	8.4962	0.017
	III	8.5943	3.0914	6.5707	0.012
Kecerahan (cm)	I	158.00	83.00	116.2	38.460
	II	137.00	16.00	95.8	48.880
	III	165.00	132.00	142.2	13.370

Keterangan :

SD = standar deviasi

I. Lokasi tertutup sebagian oleh *Eichhornia crassipes*II. Lokasi tertutup oleh *Eichhornia crassipes*III. Lokasi bebas dari *Eichhornia crassipes*

Dari data yang didapatkan tersebut, kemudian dianalisis dengan menggunakan alat bantu statistika, yaitu uji rata-rata (uji t) dan uji beda rata-rata yang bertujuan untuk menguji hipotesis awal yang diajukan. Dari hasil analisis statistik tersebut didapatkan hasil-hasil seperti tersaji pada Lampiran 8 dan Lampiran 9. Ringkasan hasil uji t (uji rata-rata) dan uji beda rata-rata masing-masing tipe lokasi sampling tersaji dalam Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil uji T beberapa variabel indikator eutrofikasi

Variabel	t	$t_{(0,005;14)}$	Status
Total nitrogen anorganik	0.87	2.98	Eutrofik
Total fosforus anorganik	- 1.89	2.98	Eutrofik
Klorofil a	0.41	2.98	Mesotrofik
Kecerahan	- 8.08	2.98	Eutrofik

Tabel 12. Hasil uji beda rata-rata antar tipe lokasi pengambilan sampel

Variabel	Subsistem	Hasil Uji	α
Total nitrogen anorganik	I dan II	+	0.60
	I dan III	+	0.60
	II dan III	-	-
Total fosfor anorganik	I dan II	+	0.90
	I dan III	+	0.60
	II dan III	+	0.60
Klorofil a	I dan II	+	0.55
	I dan III	-	-
	II dan III	+	0.60
Produktivitas primer	I dan II	+	0.55
	I dan III	-	-
	II dan III	-	-
Kecerahan	I dan II	+	0.60
	I dan III	+	0.55
	II dan III	+	0.80
Oksigen terlarut	I dan II	+	0.60
	I dan III	+	0.60
	II dan III	+	0.60
BOD ₅	I dan II	+	0.55
	I dan III	+	0.55
	II dan III	-	-
Turbiditas	I dan II	-	-
	I dan III	-	-
	II dan III	+	0.75
Jumlah individu	I dan II	+	0.60
	I dan III	+	0.55
	II dan III	-	-

Keterangan :

I. Lokasi tertutup sebagian oleh *Eichhornia crassipes*II. Lokasi tertutup oleh *Eichhornia crassipes*III. Lokasi bebas dari *Eichhornia crassipes*

+ : terdapat perbedaan pada taraf signifikan tersebut

- : tidak terdapat perbedaan pada semua taraf signifikan

BAB VI. PEMBAHASAN

VI.1. Kajian Fisika Kimia dan Biologi Perairan Rawa Pening

Perairan Rawa Pening merupakan sistem perairan yang relatif tertutup, sehingga air dan material yang terlarut ataupun tersuspensi di dalamnya, memiliki waktu tinggal yang relatif lama di kolom air Rawa Pening. Banyak sekali keunikan maupun kesulitan yang didapatkan dan dihadapi di perairan ini, sehingga metode penelitian yang dilakukan juga harus menyesuaikan keadaan perairan ini. Salah satu kesulitan yang didapati adalah karena banyaknya populasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan ganggang rantai (*Hydrilla*), yang memenuhi hampir seluruh areal Rawa Pening. Kenyataan ini menyebabkan jumlah sampel yang didapatkan, kemungkinan belum bisa menggambarkan kondisi perairan secara keseluruhan. Sampel air diambil dari tempat atau lokasi dimana peralatan yang tersedia masih memungkinkan untuk mencapainya.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa variabel, baik yang dapat ditentukan secara *in-situ* maupun yang harus dihitung atau dianalisis secara *ex-situ*. Variabel yang dapat ditentukan secara *in-situ* diantaranya adalah kecerahan, turbiditas, oksigen terlarut, suhu dan pH. Data kecerahan air di Rawa Pening menunjukkan angka rata-rata pada 118,07 cm. Kecerahan tertinggi terdapat di Ngirengan Segalok (165 cm), sedangkan kecerahan terendah didapatkan di Parat (16 cm). Parat adalah salah satu sungai yang masuk ke Rawa Pening. Lokasi ini relatif dangkal karena lapisan sedimen yang cukup tebal. Lokasi yang penuh dengan partikel-partikel tersuspensi ini, berimplikasi pada tingginya turbiditas yang mencapai 28,20 NTU (tertinggi di antara semua lokasi

pengambilan sampel). Dengan kondisi semacam ini menyebabkan penetrasi cahaya yang masuk juga sangat kecil. Tingginya laju sedimentasi yang berasal dari hulu sungai karena perubahan fungsi lahan di daerah hulu sungai Parat, yaitu pemanfaatan lahan untuk tanaman sayur, dari yang semula sebagai lahan tanaman keras, mungkin menjadi penyebab keadaan ini.

Kondisi yang berbeda terjadi di Ngirengan Segalok, dimana penetrasi cahaya mampu menembus hingga 165 cm. Penetrasi yang cukup dalam ini selain disebabkan tidak adanya populasi eceng gondok di lokasi ini, juga karena turbiditas yang relatif rendah (hanya mencapai 2,60 NTU). Lokasi ini yang relatif tenang airnya, sehingga mendukung situasi ini. Ngirengan Segalok berada kurang lebih di tengah-tengah Rawa Pening dengan pergerakan air yang relatif lebih kecil dibandingkan lokasi yang lebih dekat ke daratan.

Secara umum (dengan tanpa melihat kondisi di Parat), cahaya matahari masih mampu masuk ke kolom air, walaupun dengan tingkat kedalaman yang sangat kecil (rata-rata 118,07 cm). Uji t yang dilakukan pada tingkat kecerahan (Secchi), menunjukkan semua lokasi pengambilan sampel telah berada pada status eutrofik (Tabel 8). Lind dkk dalam Straskraba (1993) menyebutkan bahwa perairan yang berada pada kondisi eutrofik memiliki kecerahan di bawah 2 meter. Kecerahan yang rendah ini dapat terjadi karena tingginya partikel-partikel tersuspensi yang ada di badan air. Selain itu, di banyak perairan, populasi fitoplankton yang mengalami "blooming" juga menyebabkan naiknya turbiditas, yang akan menghambat penetrasi cahaya ke badan air. Walaupun demikian, kondisi populasi fitoplankton di perairan Rawa Pening, masih belum bisa dikatakan dalam kondisi "blooming". Secara keseluruhan populasi fitoplankton masih dapat

dikatakan rendah (Tabel 8). Sehingga diduga, terhambatnya penetrasi cahaya ke badan air lebih disebabkan karena tingginya partikel-partikel tersuspensi. Partikel-partikel ini dapat berasal dari potongan-potongan *Hydrilla* atau akar *Eichhornia crassipes*, ataupun sedimen yang terbawa masuk ke badan air melalui beberapa sungai di sekitar Rawa Pening. Kecerahan maksimum yang hanya mencapai 165 cm (Ngirengan Segalok) menunjukkan tebal zona eufotik maksimum di perairan Rawa Pening. Zona eufotik merupakan zona dimana masih dimungkinkan terjadinya proses fotosintesis. Ketersediaan cahaya yang sedikit bagi fitoplankton ini masih ditambah dengan faktor kompetisi cahaya dengan ganggang rantai (*Hydrilla*) yang cukup tinggi populasinya di Rawa Pening. Terhambatnya cahaya yang masuk ke badan air ini, menjadi faktor pembatas produktivitas fitoplankton (Kennish, 1990).

Hasil analisis kandungan fosfor dan nitrogen menunjukkan variasi yang cukup besar, terutama untuk kandungan nitrogen (Lampiran 1). Kandungan nitrogen yang sangat tinggi terdapat di daerah Torong Galih (mencapai 2,880 mg/L), sedangkan di lokasi pengambilan sampel yang lain, kandungan total nitrogen tertinggi hanya mencapai 0,746 mg/L. Kandungan total nitrogen yang relatif tinggi ini menunjukkan bahwa perairan Rawa Pening telah masuk dalam kategori perairan eutrofik (Tabel 9). Uji t yang dilakukan menunjukkan bahwa kandungan nitrogen total di perairan Rawa Pening telah berada pada status eutrofik, pada taraf signifikan 0,995 (Lampiran 7). Kandungan nitrogen yang tinggi ini, juga dipasok oleh kandungan ammonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$) yang relatif tinggi (rata-rata 256,67 $\mu\text{g/L}$) (Lampiran 1). Perairan normal biasanya memiliki kandungan ammonia di bawah 150 $\mu\text{g/L}$ (Reynolds, 1993).

Secara umum rata-rata kandungan nitrogen total telah mencapai ambang batas untuk kondisi eutrofik, walaupun sebagian lokasi masih berada pada status mesotropik, dengan rata-rata kandungan nitrogen total di bawah 0,5 mg/L (Lind dkk dalam Straskraba, 1993). Khusus untuk kondisi di Torong Galih, tingginya nitrogen total, dikarenakan tingginya kandungan nitrat (NO_3) di lokasi ini. Belum dapat dipastikan penyebab tingginya nitrat di Torong Galih, namun dinamika ekologi di perairan Torong Galih (terutama dinamika di dasar perairan), kemungkinan menjadi penyebab tingginya kandungan nitrat di lokasi ini. Peran mikrobia penghasil nitrat dan berbagai aktivitas biokimianya, diduga memasok konsentrasi nitrat yang tinggi di daerah ini. Penyebab lainnya kemungkinan aktivitas pertanian yang cukup intensif, terutama di kawasan Bandung, Gedong Songo dan sekitarnya. Kondisi ini kemungkinan akan bertambah parah apabila musim hujan, mengingat debit air yang lebih tinggi, dengan materi-materi tersuspensi dan terlarut yang juga lebih tinggi (Anonim, 2003). Kemungkinan lain adalah karena di lokasi ini hanya terdapat sedikit fitoplankton dari kelompok Cyanophyta (Cyanobacteria) (Lampiran 5). Kelompok Cyanophyta merupakan jenis yang membutuhkan nitrogen paling banyak, di antara kelompok yang lain. (Hall *et. al*, 1993).

Sebagaimana kandungan total nitrogen, total fosfor perairan Rawa Pening juga telah mencapai status eutrofik (Tabel 9). Rata-rata kandungan total fosfor di perairan ini telah mencapai angka 0,260 mg/L. Hasil uji t menunjukkan bahwa pada taraf uji 0.995, kandungan total fosfor telah berada pada tingkat eutrofik. Harga $t = -1,898$ berada pada daerah penerimaan hipotesis, dengan harga

$t_{(0,001;14)} = 2,98$ (Lampiran 8). Ambang batas total fosfor perairan yang berada pada kondisi eutrofik adalah 30 – 100 $\mu\text{g/L}$ (Lind dkk dalam Straskraba, 1993).

Kandungan total fosfor yang tinggi merupakan faktor yang cukup menunjang produktivitas primer fitoplankton. Namun kompetisi yang terjadi antara fitoplankton, *Eichhornia crassipes* dan *Hydrilla*, menyebabkan fosfor menjadi faktor pembatas produktivitas fitoplankton (Freedman, 1989). Fosfor sebagai salah satu unsur makro dibutuhkan fitoplankton dalam pembentukan enzim-enzim metabolisme. Fosfor dibutuhkan fitoplankton dan tanaman air lainnya dalam pembentukan rantai samping NADP, NADPH dan ATP (Levinton, 1982 ; Barnstein & Barnstein, 1996).

Nitrogen dan fosfor yang dianalisis, diasumsikan sebagai jumlah bersih (*netto*), dan merupakan sisa dari berbagai aktivitas biokimia yang terjadi di perairan Rawa Pening. Hasil analisis menunjukkan konsentrasi nitrogen yang lebih tinggi, pada rasio jumlah spesies fotoautotrof dan heterotrof yang lebih tinggi (Lampiran 13). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar nitrogen perairan yang terukur, lebih dimanfaatkan oleh kelompok heterotrof dibandingkan dengan pemanfaatan kelompok fotoautotrof. Dengan kata lain, jumlah jenis kelompok heterotrof, lebih menentukan sisa nitrogen di perairan, yang terukur melalui analisis di laboratorium.

Kecenderungan tersebut tidak terjadi dalam hubungan fitoplankton dengan fosfor (Lampiran 12). Kemungkinannya adalah karena konsentrasi fosfor yang telah melampaui ambang batas kategori trofik (rata-rata mencapai 0,179 mg/L), sedangkan populasi fitoplankton yang ada di perairan ini relatif rendah (Lampiran 6). Dengan demikian, masih terdapat sisa fosfor yang cukup melimpah

di perairan. Kemungkinan lain adalah faktor kompetisi dengan *Eichhornia crassipes* dan *Hydrilla*, yang menyebabkan populasi fitoplankton kurang berkembang jika dibandingkan dengan kedua jenis tanaman air ukuran makro tersebut.

Walaupun kandungan total nitrogen dan total fosforus perairan Rawa Pening telah berada pada status trofik, namun jika mengacu pada baku mutu air permukaan yang berlaku saat ini, air di Rawa Pening masih layak untuk dimanfaatkan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, secara umum air Rawa Pening masih bisa dimasukkan dalam Kelas I, yaitu sebagai air baku air minum. Beberapa lokasi (Segalok, Bukit Cinta 2, dan Parat) dengan kandungan fosforus yang tinggi masuk pada Kelas III, yaitu air baku untuk peternakan, budidaya air tawar dan pertanaman. Berkaitan dengan baku mutu yang berlaku tersebut, perhatian justru lebih ditekankan pada nilai DO dan BOD₅ air Rawa Pening. Hampir semua lokasi menunjukkan bahwa air permukaan Rawa Pening tidak layak sebagai air baku air minum (Kelas I). Pemanfaatan secara langsung hanya sebagai air baku peternakan, budidaya ikan air tawar dan pertanaman (Kelas III). Kemungkinan rendahnya DO di perairan Rawa Pening adalah karena laju fotosintesis produsen perairan (fitoplankton) yang terhambat. Penghambatan terjadi karena tingginya turbiditas dan tipisnya zona eufotik. Kemungkinan lain adalah tingginya konsumsi oksigen oleh bakteri aerobik dalam proses dekomposisi. Peningkatan aktivitas dekomposisi akan meningkatkan laju konsumsi oksigen terlarut oleh mikrobial dekomposer (Kupchella dan Hylland, 1993 ; Barus 2002).

VI.2. Komunitas dan produktivitas primer fitoplankton

Penentuan kualitas perairan menggenang (lentik), seperti halnya Rawa Pening, dapat dengan menggunakan pendekatan berdasarkan fluktuasi populasi fitoplankton yang dapat juga menjadi indikator tingkatan trofik perairan tersebut (Barus, 2002). Fluktuasi fitoplakton sendiri dipengaruhi oleh banyak faktor lingkungan seperti cahaya dan unsur hara. Akumulasi unsur hara di perairan akan memacu pertumbuhan fitoplankton, yang akan mengarah ke “blooming” populasi, yang bermuara pada terjadinya eutrofikasi dan penurunan kualitas perairan.

Di perairan Rawa Pening ditemukan kelompok-kelompok yang sering dijadikan sebagai indikator status trofik perairan. Sebagian diantaranya merupakan indikator perairan eutrofik. Hal ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan kondisi atau status trofik Rawa Pening yang telah mengarah ke tingkat eutrofik. Genera yang ditemukan tersebut antara lain *Asterionella*, *Fragillaria*, *Melosira*, *Stephanidiscus*, *Anabaena*, *Mycrocystis* dan *Oscillatoria*. *Straurastrum* dan *Cyclotella* yang juga ditemukan di perairan ini, seringkali menjadi indikator tingkat oligotrofik. Keberadaan spesies-spesies tersebut biasanya menjadi indikator untuk danau-danau di daerah subtropik (Tabel 13), namun setidaknya dapat memberikan gambaran mengenai kelompok atau genera yang mulai mengarah ke kondisi eutrofik. Pengklasifikasian kelompok indikator eutrofikasi tersebut, secara sederhana adalah sebagai berikut :

Tabel 13. Tipikal fitoplankton yang mendominasi danau pada beberapa status trofik (Ryding and Rast, 1989 ; Harper, 1992 ; Barus, 2002)

Kelas	Status Trofik		
	Oligotrofik	Mesotrofik	Eutrofik
Desmids	<i>Staurastrum</i> <i>Cosmarium</i> <i>Staurodesmus</i>	<i>Staurastrum</i> <i>Closterium</i>	<i>Melosira</i> <i>Asterionella</i> <i>Stephanodiscus</i>
Diatom	<i>Tabellaria</i> <i>Cyclotella</i> <i>Melosira</i> <i>Rhizosolenia</i>	<i>Stephanodiscus</i> <i>Cyclotella</i> <i>Asterionella</i>	
Chrysophyta	<i>Dinobryon</i>		
Chlorophyta		<i>Pediastrum</i> <i>Eudorina</i>	<i>Scenedesmus</i> , <i>Eudorina</i>
Dinoflagellata		<i>Oeridinium</i> <i>Ceratium</i>	
Cyanophyta			<i>Aphanizomenon</i> <i>Mycrocystis</i> <i>Anabaena</i>

Kondisi perairan yang kandungan total nitrogen dan fosfornya tinggi ini seharusnya mampu menunjang produktivitas primer fitoplankton di perairan Rawa Pening (yang diestimasi dengan kandungan klorofil). Kandungan klorofil fitoplankton Rawa Pening, menunjukkan variasi yang cukup tinggi, dengan kandungan klorofil tertinggi mencapai 21,719 $\mu\text{g/L}$ (Bukit Cinta 2) dan terendah 4,472 $\mu\text{g/L}$ (Sebebek). Kandungan klorofil Rawa Pening ini, secara umum (dengan menggunakan uji t) masih berada pada status mesotrofik, pada taraf signifikan 0,995 (Lampiran 8).

Berdasarkan penentuan kandungan klorofil fitoplankton tersebut, diketahui produktivitas primer fitoplankton Rawa Pening berkisar antara 0,741 – 9,453 $\text{mgCm}^{-2}\text{hari}^{-1}$. Apabila dibandingkan dengan beberapa perairan tawar lain, produktivitas primer Rawa Pening termasuk sangat rendah. Danau Hemlock, Michigan, Amerika Serikat, yang telah banyak terganggu oleh aktivitas manusia,

masih mampu memproduksi hingga $400 \text{ mgCm}^{-2}(4 \text{ jam})^{-1}$ (Waite, 1984). Bahkan jika dibandingkan dengan perairan tawar di Brasil (yang juga merupakan negara di wilayah tropis), Rawa Pening termasuk sangat rendah. Beberapa perairan tawar di Brasil mampu mencapai produktivitas primer fitoplankton $25,99 - 584,08 \text{ mgCm}^{-2}\text{hari}^{-1}$ (Tundisi dalam Straskraba, 1993).

Fitoplankton mampu memproduksi pada kolom air yang masih dapat ditembus oleh cahaya. Semakin dalam cahaya yang mampu menembus kolom air, maka semakin tebal zona eufotik, zona dimana proses fotosintesis masih mungkin berjalan. Peningkatan kecerahan berimplikasi langsung pada produktivitas dan peningkatan oksigen terlarut sebagai hasil fotosintesis fitoplankton (Gambar 4 dan Gambar 5). Bagi tanaman air (seperti halnya fitoplankton), cahaya merupakan masalah tersendiri jika dibandingkan dengan tanaman teresterial. Tidak seperti di udara, cahaya yang masuk ke badan perairan akan mengalami pemantulan dan penyerapan oleh air (McNaughton dan Wolf, 1990). Selain itu tidak semua panjang gelombang mampu masuk pada kedalaman yang sama. Sehingga bagi tanaman akuatik, cahaya merupakan faktor pembatas produktivitas (Stern, 1991).

Beberapa hal yang kemungkinan menjadi penyebab terhambatnya fitoplankton adalah kompetisi dengan *Hydrilla* dan *Eichhornia crassipes*. Selain itu faktor fisik perairan, dengan kecerahan yang rendah (sebagai akibat turbiditas yang tinggi), menyebabkan penetrasi cahaya terbatas hingga kedalaman yang sangat terbatas (Gambar 2). Faktor lain yang menjadi penghambat perkembangan fitoplankton adalah arus air di dasar danau dan angin yang sering mencampur air Rawa Pening (dengan berbagai materi tersuspensi dan terlarut). Hal ini juga berimplikasi pada tingginya turbiditas perairan.

VI.3. Pengaruh keberadaan *Eichhornia crassipes* pada lokasi sampling

Peningkatan kecerahan cenderung menurunkan rasio jumlah jenis kelompok fotoautotrof dan heterotrof (Lampiran 13). Kecenderungan ini tidak terjadi di lokasi perairan yang bebas dari penutupan eceng gondok.. Hal ini mengindikasikan bahwa penutupan permukaan air oleh eceng gondok, menyebabkan berkurangnya jumlah jenis kelompok fotoautotrof. Kompetisi cahaya dengan *Eichhornia crassipes* menyebabkan kelompok fotoautotrof ini kurang dominan. Lain halnya dengan lokasi yang terbuka (bebas dari eceng gondok). Walaupun tidak sepenuhnya menunjukkan kecenderungan meningkat, namun secara umum, rasio jumlah fotoautotrof dan heterotrof lebih tinggi, jika dibandingkan dengan tipe lokasi yang lain.

Uji kesamaan dua rata-rata, yang dilakukan pada kandungan total fosfor, menunjukkan perbedaan yang signifikan, dalam hal kandungan total fosfor di ketiga tipe lokasi sampling (Lampiran 8). Jumlah eceng gondok yang berbeda untuk tiap lokasi pengambilan sampel, menyebabkan penyerapan fosfor juga berbeda, walaupun dengan taraf signifikan yang sangat rendah ($t_{(0,40;8)}$). Perbedaan yang cukup signifikan ($t_{(0,10;8)}$), terjadi antara lokasi yang tertutup sebagian dan tertutup penuh oleh *Eichhornia crassipes* (Tabel 12). Keberadaan eceng gondok kemungkinan akan menyerap lebih banyak fosfor yang terlarut di badan air. Pada perairan yang bebas dari eceng gondok, fosfor praktis hanya dimanfaatkan oleh fitoplankton (yang jumlahnya masih termasuk kecil) (Tabel 9) dan oleh ganggang rantai (*Hydrilla*). Dibandingkan dengan fosfor, penyebaran nitrogen terlarut di perairan ini relatif lebih merata, kecuali total nitrogen di Torong Galih. Perbedaan yang terjadi pada tipe-tipe lokasi sampling didapatkan pada $t_{(0,40;8)}$ (Tabel 12). Hal

ini menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan di tiga tipe lokasi sampling.

Populasi fitoplankton juga relatif tersebar di seluruh perairan Rawa Pening. Penyebaran ini digambarkan oleh penyebaran konsentrasi klorofil a yang relatif sama di semua badan air (Tabel 12). Sedikit perbedaan ditunjukkan di perairan yang tertutup dan bebas oleh eceng gondok. Uji kesamaan dua rata-rata pada $t_{(0,40;8)}$ menunjukkan perbedaan rata-rata konsentrasi klorofil a di kedua tipe lokasi ini. Keberadaan eceng gondok diduga menjadi penyebab perbedaan ini. Fitoplankton yang berada di bawah populasi eceng gondok relatif terhambat aktivitasnya, jika dibandingkan di perairan yang bebas, yang mendapatkan lebih banyak cahaya. Walaupun keberadaan eceng gondok menjadi kompetitor cahaya dan nutrisi bagi fitoplankton, namun pada penelitian ini tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara ketiga tipe lokasi pengambilan sampel (subsistem).

Kondisi yang sama juga terjadi pada variabel kecerahan (Secchi). Uji kesamaan dua rata-rata, menunjukkan perbedaan (pada $t_{(0,20;8)}$) pada tipe lokasi yang tertutup oleh eceng gondok dengan lokasi yang bebas dari eceng gondok. Penetrasi cahaya di lokasi yang bebas dari eceng gondok akan lebih jauh menembus badan air, dibandingkan dengan lokasi yang terhalang oleh populasi eceng gondok.

Hasil uji beda rata-rata beberapa variabel, secara umum kurang menunjukkan perbedaan yang signifikan (Lampiran 9). Keadaan ini menunjukkan bahwa perairan rawa Pening, berada dalam kondisi relatif homogen. Tidak adanya perbedaan antara tiga tipe lokasi sampling, menunjukkan bahwa secara umum,

tidak ada pengaruh yang signifikan akibat keberadaan eceng gondok di permukaan air terhadap kondisi perairan di bagian bawah populasi eceng gondok. Walaupun ada perbedaan, ini terjadi pada taraf signifikan yang rendah. Kondisi yang berbeda cukup signifikan ini, terjadi antara perairan yang tertutup seluruhnya oleh eceng gondok (subsistem II) dan perairan yang bebas dari eceng gondok (subsistem III). Perairan yang tertutup sebagian tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (secara statistik), baik terhadap perairan terbuka maupun tertutup seluruhnya oleh eceng gondok (Tabel 12).

Kondisi yang relatif homogen di tiga lokasi pengambilan sampel tersebut, dikarenakan oleh kenyataan bahwa Rawa Pening merupakan perairan yang relatif dangkal (rata-rata 4 meter) dan volume air yang relatif kecil. Elevasi muka air Rawa Pening maksimum dicapai pada 463,90 dan muka air minimum sebesar 462,05, dengan kapasitas air maksimum sebesar 65 juta m^3 dan kapasitas minimum 25 juta m^3 (Pemerintah Kabupaten Semarang, 2000). Perairan Rawa Pening juga dikelilingi dataran tinggi, yang menyebabkan angin seringkali berputar di atas perairan ini. Keadaan-keadaan seperti ini memungkinkan pencampuran air dari beberapa tipe lokasi tersebut. Kemungkinan lain yang menyebabkan tidak adanya perbedaan di ketiga tipe lokasi tersebut adalah, adanya kenyataan bahwa eceng gondok yang mengapung di permukaan perairan, tidak menetap di satu lokasi. Perpindahan ini juga dapat berlangsung sangat cepat. Lokasi pengambilan sampel yang bebas dari eceng gondok, kemungkinan tertutup eceng gondok, beberapa saat sebelum pengambilan sampel dilakukan. Demikian juga lokasi yang tertutup eceng gondok, kemungkinan belum terlalu lama tertutup

oleh eceng gondok. Sehingga kondisi air di bawah eceng gondok, kemungkinan juga belum mencerminkan kondisi yang sebenarnya.

Namun demikian tidak dapat dikatakan, bahwa kondisi-kondisi yang dijelaskan di atas, akan menjadi kesimpulan yang benar. Kondisi yang berbeda, dapat saja terjadi pada pengambilan sampel di waktu berikutnya, mengingat kondisi Rawa Pening yang relatif berubah setiap saat. Dinamika ekologi dan biokimia di permukaan, dasar perairan serta berkombinasi dengan kondisi klimatologi dan hidrogeografi, menyebabkan Rawa Pening menjadi satu perairan yang unik dan masih banyak misteri ilmiah didalamnya.

Secara umum dari hasil penentuan beberapa variabel, baik secara *in-situ* maupun *ex-situ*, perairan Rawa Pening mulai ada pada tingkat eutrofik. Setidaknya kondisi ini ditunjukkan pada kolom air yang masuk zona eufotik. Kondisi yang berbeda mungkin terjadi di bagian dasar perairan, dengan dinamika yang lebih kompleks dan bervariasi.

VI.4. Aktivitas masyarakat sekitar Rawa Pening

Kegiatan masyarakat sekitar Rawa Pening sangat berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimia perairan serta kondisi biota di Rawa Pening. Banyak masyarakat sekitar Rawa Pening memanfaatkan perairan sebagai media budidaya perikanan air tawar. Di beberapa tempat (misalnya di Tuntang), terdapat banyak sekali karamba yang digunakan sebagai media budidaya ikan air tawar. Di lokasi lain terdapat jala apung, yang digunakan penduduk untuk menangkap ikan. Pemanfaatan perairan untuk karamba ini berimplikasi pada kebutuhan pakan ikan buatan (suplemen) yang digunakan sebagai suplemen untuk memacu produksi.

Tidak ada data resmi mengenai kebutuhan pakan buatan ini, namun diduga penggunaan pakan yang berlebihan ikut berperan dalam mempengaruhi dinamika di perairan (terutama berbagai aktivitas mikrobiologi didasar perairan).

Intensifikasi pertanian di daerah atas perairan Rawa Pening (*catchment area*), ikut pula dalam mempengaruhi berbagai dinamika di Rawa Pening. Misalnya perubahan fungsi lahan di daerah hulu Sungai Parat, dari lahan tanaman keras menjadi lahan tanaman semusim (tanaman sayur-sayuran). Perubahan fungsi lahan ini berperan dalam mengikis tanah yang pada akhirnya mengendap di muara Sungai Parat. Kondisi muara Sungai Parat memberikan gambaran laju erosi yang sangat tinggi di daerah hulu.

Kegiatan pertanian di daerah Bandungan dan Gedong Songo, juga menyumbang pengaruh yang nyata terhadap perubahan fisik dan kimia perairan. Air yang mengalir di Sungai Torong dan Sungai Galih, diduga banyak mengandung sisa-sisa pupuk kimia yang terekspresi pada tingginya kandungan nitrogen di muara Torong Galih. Dari informasi yang didapatkan, diketahui bagaimana sulitnya mengubah budaya masyarakat untuk mengubah pola penggunaan pupuk. Baik jenis pupuk yang digunakan maupun dosis yang diberikan.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam upaya konservasi Rawa Pening adalah kemungkinan adanya konflik kepentingan dalam masyarakat. Bukan hanya kepentingan masyarakat sekitar Rawa Pening, namun juga masyarakat di sekitar hilir Sungai Tuntang, yang juga memiliki kepentingan dalam pemanfaatan air dari Rawa Pening. Berbagai pendapat dari masyarakat juga muncul tentang keberadaan “bengok” (eceng gondok) di permukaan air. Beberapa kelompok

masyarakat memandang keberadaan bengkok ini, sebagai tempat bersarangnya hama tikus bagi kegiatan pertanian di sekitar Rawa Pening. Namun sebagian pihak juga memanfaatkan bengkok ini sebagai sumber bahan baku kerajinan (yang dapat dilihat di sekitar jalan raya Lopait).

Permasalahan lain yang perlu mendapat perhatian adalah populasi ganggang rantai (*Hydrilla*) dan nayas di dasar perairan. Perkembangbiakan tanaman air ini juga tidak kalah cepat dibandingkan dengan eceng gondok. Walaupun masih sangat kurang diperhatikan, namun tanaman-tanaman ini sebenarnya juga memiliki kontribusi yang sangat besar dalam mempercepat laju sedimentasi. Di beberapa tempat keberadaan ganggang rantai juga sempat mengganggu proses pengambilan sampel. Belum ada masyarakat yang memanfaatkan tanaman ini, yang sekaligus bisa menjadi usaha pengendalian populasi, sebagaimana dilakukan pada eceng gondok.

Berbagai aspek kegiatan masyarakat tersebut di atas, tidak bisa dilepaskan dari berbagai aspek ilmiah dalam penelitian Rawa Pening, yang bertujuan untuk konservasi Rawa Pening. Termasuk didalamnya berbagai studi tentang sosial, budaya dan ekonomi masyarakat Rawa Pening. Tujuannya tentu adalah mengakomodasi berbagai kepentingan yang terkait langsung dan tidak langsung dengan masalah Rawa Pening, baik kepentingan ekonomi maupun konservasi lingkungan. Satu kelompok yang terabaikan akan memberikan peluang terjadinya konflik, berkaitan dengan perbedaan kepentingan dalam masyarakat sekitar Rawa Pening. Vallentyne dalam Margalef (1994) menyebutkan bahwa pengelolaan dan penyelesaian masalah lingkungan harus menggunakan pendekatan ekosistem. Pendekatan ekosistem menyertakan tiga aspek utama yaitu, masyarakat, ekonomi

dan lingkungan. Ketiga aspek tersebut berada dalam satu lingkaran tertutup. Tidak satupun dari ketiga aspek tersebut yang dapat dikorbankan, demi tujuan satu aspek yang lain. Pemberdayaan masyarakat merupakan salah satu alternatif pengambilan keputusan yang dinilai cukup bijaksana. Diharapkan masyarakat juga mampu bekerja sama dengan pemerintah dan akademisi untuk mendapatkan keputusan tepat untuk tujuan konservasi Rawa Pening.

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

1. Struktur komunitas fitoplankton Rawa Pening didominasi oleh kelompok Chrysophyta dengan 21 genera fitoplankton yang ditemukan. Indeks keanekaragaman Shannon – Wiener tertinggi sebesar 2,883 dan indeks pemerataan tertinggi adalah 0,911.
2. Produktivitas primer fitoplankton Rawa Pening (diestimasi dengan klorofil total), masih berada pada tingkatan rendah yang berkisar antara 0,741 – 9,453 mgCm⁻²m⁻¹.
3. Tidak ada perbedaan yang signifikan, akibat penutupan badan air oleh *Eichhornia crassipes*, terhadap variabel biologi, fisika dan kimia perairan yang diteliti.
4. Berdasarkan variabel fisika kimia perairan, Rawa Pening telah berada pada status eutrofik. Namun dari variabel biologi perairan (fitoplankton) Rawa Pening berada pada status mesotrofik.

VII.2. Saran

1. Diperlukan data seri yang lebih memadai serta pertimbangan terhadap kemungkinan munculnya banyak asumsi dalam penelitian lanjutan, yang bertujuan menetapkan model eutrofikasi Rawa Pening.
2. Data pendukung dari berbagai disiplin ilmu (termasuk ilmu-ilmu sosial) akan sangat dibutuhkan dalam pembahasan satu sistem yang kompleks, seperti halnya Rawa Pening.

3. Berbagai aspek sosial ekonomi dan kepentingan masyarakat sekitar Rawa Pening perlu diakomodasi dalam pengambilan keputusan yang menyangkut usaha konservasi Rawa Pening.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2003, **Elevasi Air Rawa Pening Naik 40 – 60 cm, Sawah Terendam**, Harian Kompas, Edisi 20 Maret 2003
- APHA, 1992, **Standard Method for Examination of Water and Waste Water**, EPS Group Inc, Hanover, USA
- Barnes, R.S.K and K.H. Man, 1980, **Fundamental of Aquatic Ecosystem**, Blackwell Scientific Publications, London
- Barnstein, R. and S. Barnstein, 1996, **Biology**, Wm C. Brown Publisher, Dubuque, Iowa
- Barus, T.A., 2002, **Pengantar Limnology**, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Jakarta
- Brower, J.E., J.H. Zar, C.N. Van Ende, 1990, **Field and Laboratory Methods for General**, Win C. Brown Publisher, USA
- Connel, D.W. and D.W. Hawker, 1992, **Pollution in Tropical Aquatic Systems**, CRC Press, Florida
- Connel, D.W. and G.J. Miller, 1995, **Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran** (Terjemahan oleh Yanti Koestoer), Penerbit Universitas Indonesia Press, Jakarta
- Environmental Canada, 2002, **Water Pollution, The Management of Water**, <http://www.ec.gc.ca>, Down load : 7 Oktober 2003
- Fardiaz, S., 1992, **Polusi Air Dan Udara**, Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- Freedman, 1989, **Environmental Ecology (The Impact of Pollution and Other Stresses on Ecosystem Structure and Function)**, Academic Press, Sand Diego, California
- Geiger, R.J and B.A Osborne, 1992, **Algal Photosynthesis**, Chapman and Hall, London
- Hall, D.O., J.M.O. Scurlock, H.R. Bhlar-Nordenkamf, R.C. Leegood and S.P. Long, 1993, **Photosynthesis and Production in a Changing Environment. A Field and Laboratory Manual**, Chapman and Hall, London
- Harper, D., 1992, **Eutrophication of Freshwater, Principles, Problems and Restoration**, Chapman and Hall, London

- Hutabarat, S dan M.S. Evans, 1986, **Kunci Identifikasi Plankton**. Penerbit UI Press. Jakarta
- Jeffries, M. and D. Mills, 1996, **Freshwater Ecology, Principles and Applications**, John Willey and Sons, Chichester
- Jorgensen S.E. and I. Johnsen, 1989, **Principles of Environmental Science and Technology**, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Kennish, M.J., 1990, **Ecology of Estuary, Volume II, Biological Aspect**, CRC Press, Florida
- Krebs, C.J., 1985, **Ecology (The experimental Analysis of Distribution and Abundance)**, Harper & Row Publisher, New York
- Krull and Muller, 1983, **University Laboratory Experiments-Biology**. Phywe, First edition, Phywe AG, Gottingen, Germany
- Kupchella, C.E. and M.C. Hyland, 1993, **Environmental Science, Living Within the System of Nature** 3rd Edition, Prentice-Hall International Inc, London.
- Levinton, J.S., 1982, **Marine Ecology**, Prentice Hall inc, New York
- Linsley R.K. and J.B. Franzini, 1991, **Teknik Sumber Daya Air** (Terjemahan oleh Djoko Sasongko), Penerbit Erlangga, Jakarta
- Mader, S.S., 1996, **Biology** 5th edition, Wm.C Publishers, Boston
- Magurran, A. 1983. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Chapman and Hall. London
- Mahida, U.N., 1986, **Pencemaran Air** (Terjemahan G.A. Icoalu), Penerbit Rajawali, Jakarta
- Margalef, R., 1994, **Limnology Now, A Paradigm of Planetary Problems**, Elsevier Science B.V., Amsterdam
- Masters, G.M., 1991, **Introduction to Environmental Engineering and Science**, Prentice-Hall Inc, London.
- McNaughton, S.J. dan L.L Wolf, 1990, **Ekologi Umum edisi II** (Terjemahan oleh S. Pringgoputro dan B. Srigandono), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Mead, R.E., R.N. Curnow and A.M. Hasked, 1993. **Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology**, Chapman and Hall, London

- Nebel, B.B and R.T. Wright, 1993, **Environmental Science. The Way the World Works** 4th Edition, Prentice Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey
- Nybakken, J.W. 1992. **Biologi Laut (Suatu Pendekatan Ekologis)**. (terjemahan oleh Muhammad Eidman), PT Gramedia. Jakarta
- OECD, 1982, **Eutrophication of Waters, Monitoring Assesment and Control**, Paris
- Parson, R.T., Y. Maita and M.C. Lalli, 1984, **A Manual of Chemical and Biological Methods for Sea Water Analysis**, Pergamon Press, London
- Payne, A.I. , 1986. **The Ecology of Tropical Lakes and Rivers**, John Willey and Sons Ltd
- Pemerintah Kabupaten Semarang, 2000, **Proyek Perencanaan Tata Lingkungan Daerah Aliran Sungai (DAS) Rawa Pening**, Laporan Akhir Tahun Anggaran 1999/2000
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, **Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**
- Purba, J., 2002, **Pengelolaan Lingkungan Sosial**, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta
- Reynolds, C.S. , 1993, **The Ecology of Freshwater Phytoplankton**, Cambridge University Press, Australia
- Ryadi, S., 1984, **Pencemaran Air. Seri Lingkungan. Dasar-dasar dan Pokok-Pokok Penanggulangannya**, Penerbit Karya Anda, Surabaya
- Ryding, S.-O. and W. Rast, 1989 **The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs, Volume 1**, UNESCO, Paris
- Saefumillah A., 2003, **Eutrofikasi, Problem Lingkungan Berskala Global**, Harian Kompas, Edisi 28 Mei 2003
- Sastrawijaya, A.T., 2000, **Pencemaran Lingkungan**, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta
- Sawyer C. N., P. L. Perry, G. F. Parkin, 1994, **Chemistry for Environmental Engineering**, Fourth Edition, McGraw – Hill, Inc, New York
- Schnoor, J.L., 1996, **Environmental Modeling, Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil**, John Wiley and Sons, Inc., New York.

- Shaw, E.M., 1994., **Hydrology in Practice** 3rd edition, Chapman and Hall, London
- Stern, K.R., 1991, **Introductory Plant Biology** 5th edition, Wm C. Brown Publisher, Dubuque, Iowa
- Straskraba, M., J.G. Tundisi, A. Duncan, 1993, **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Sudjana, 1996, **Metoda Statistika**, Edisi ke 6, Penerbit Tarsito, Bandung
- Sutcliffe, D.W. and J.G. Jones, 1992, **Eutrophications, Research and Application to Water Supplay**, Freshwater Biological Association, Cumbria
- UNEP, 2000, **Lakes and Reservoir, Similarities, Differences and Importance**, <http://www.unep.or.jp>. Down load : 7 Oktober 2003
- Waite, T.D., 1984, **Principles of Water Quality**, Academic Press Inc, Orlando
- Welch, E.B., 1992, **Ecological Effects of Freshwater Applied Limnology and Pollutant Effects**, 2nd edition, Cambridge University Press
- Wetzel, R.G., 1983, **Limnology** 2nd Edition, Saunders College Publishing, Philadephia.